自動車排ガスによる大気汚染状況の
短時間計測システムの開発

２０１３

小　栗　　彰

目　次

第１章 序　論 1
1.1　研究の背景 1
1.2　従来の研究 5
(1)　大気汚染常時監視測定局の測定結果を用いた研究 5
(2)　沿道などでの実測値に基づく研究 7
(3)　車載型排出ガス計測装置を用いた研究 9
(4)　整備不良車からの排気ガスに関する研究 12
(5)　自動車排気ガスの健康への影響に関する研究 14
1.3　本研究の目的 17
1.4　本論文の構成 18

第２章 短時間計測システムの開発 20
2.1　緒　言 20
2.2　NO_2濃度に関する短時間計測システムの構成と測定の手順 23
2.2.1　NO_2の検出と濃度の測定法 23
2.2.2　測定の手順 24
2.2.3　データ処理方法 26
2.3　開発したNOx濃度測定システムの性能評価 27
2.3.1　高濃度標準ガスを用いたNOx濃度測定システムの性能評価 27
2.3.2　窒素酸化物濃度測定装置校正用標準ガスを用いたNOx濃度測定システムの性能評価 30

2.4 結　言 33

第3章 国道23号線沿道での大気汚染状況の調査 35
3.1 緒　言 35
3.2 調査方法 37
3.2.1 NOx濃度測定地点 37
3.2.2 測定機器の設置 37
3.3 調査結果および考察 42
3.3.1 大気汚染状況調査のためのNOx濃度測定システムの適用 42
3.3.2 時間帯による大気汚染状況の変化 43
3.3.2.1 渋滞のない時間帯でのNOx濃度の時間変化 43
3.3.2.2 渋滞が発生した時間帯でのNOx濃度の時間変化 44
3.3.2.3 異なる時間帯でのNO_2濃度の時間変化 46
3.3.3 整備不良大型車通過時のNO_2濃度とNO濃度の変化 52
3.3.4 NO_2濃度とNO濃度の周期的変動の原因 54
3.3.5 NO_2濃度の水平方向分布 55
3.3.6 NO_2濃度の鉛直方向分布 59
3.4 結　言 62

第4章 自動車の排気ガスに起因した大気汚染による健康被害の防止 65
4.1 緒　言 65

4.2　自動車の排気ガスに起因した劣悪な大気環境から逃れる方法　65
4.3　結　言　71

第5章 結　論　72

謝辞　78

参考文献　80

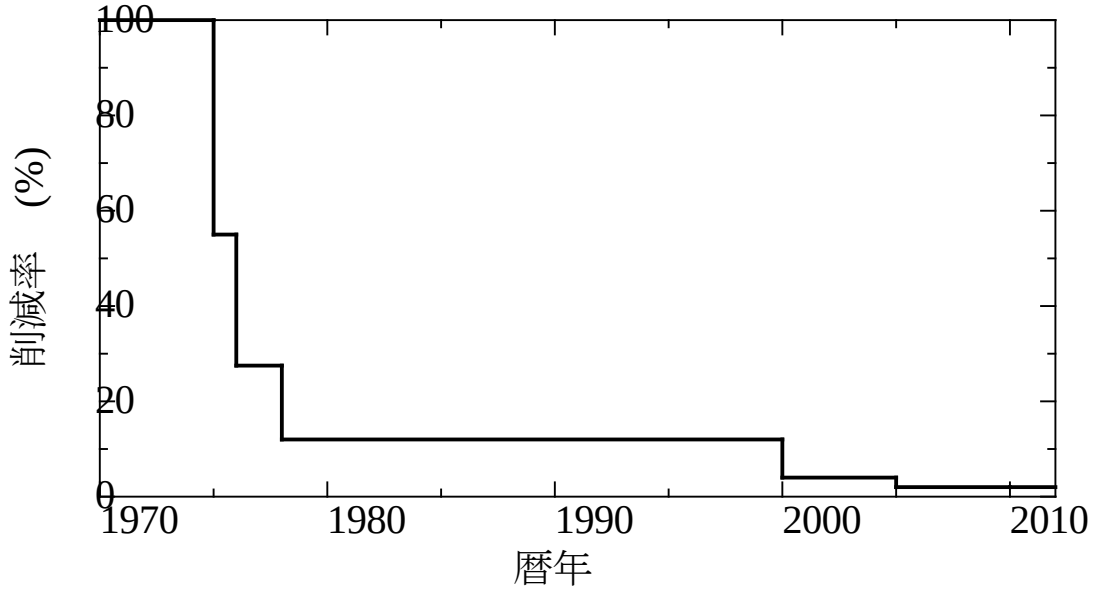
論文リスト　86

第 1 章　序　論

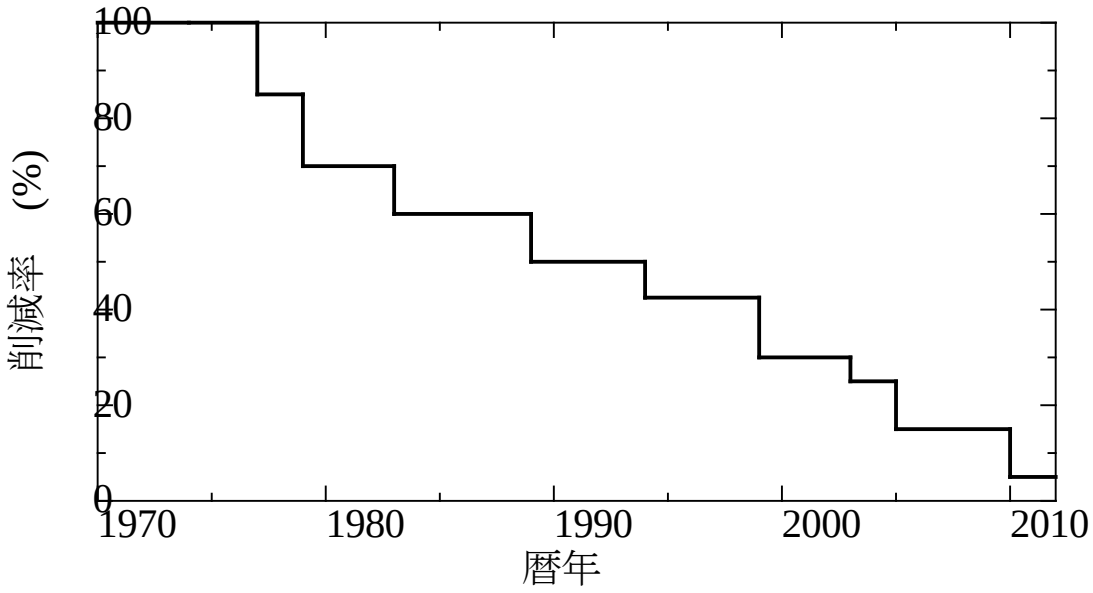
1.1　研究の背景

自動車の排気ガスに含まれる窒素酸化物、硫黄酸化物、粒子状物質は光化学スモッグや酸性雨などを引き起こす大気汚染原因物質であるとともに、人間に健康被害をおよぼす恐れがある。特に二酸化窒素（ nitrogen dioxide：以下 NO_2と記述する）は顕著な健康被害を及ぼすとされている。呼吸によって空気に含まれるNO_2が体内に入ると、容易に体内に吸収され、強い酸性を示すため粘膜の刺激、気管支炎、肺水腫などを引き起こす場合がある[1)]。　そのため、移動発生源である自動車に対してこれらの有害物質を低減させようとする取り組みが古くから実施されてきた。

窒素酸化物には一酸化窒素（ nitric oxide : 以下NO）や三酸化二窒素（ dinitrogen trioxide : N_2O_3 ）も含まれるので、それら窒素の酸化物の総量に対して自動車排気ガス規制が行われている。窒素の酸化物の総称として窒素酸化物（ nitrogen oxide：以下NOx ）と呼ばれることが多い。我が国におけるこのようなNOxの濃度に対する規制の変遷をガソリン乗用車とディーゼル重量貨物車に分けて図 1.1(a)と図 1.1(b)に示す。これらの図では、濃度規制値が暦年とともにどのように変化してきたかを、規制が始まる以前の濃度に対する削減率で示している。光化学スモッグによる事故への対応に起因した 1973 年の規制以来、アメリカでのマスキー法の提案を受けて、日本でも 1975 年、78 年に規制強化が行われた。その後も、幾度も規制強化が繰り返されて現在に至っている。現状では、排気ガスに含まれるNOx濃度は規制が行なわれていなかった時期に比べて 1 / 100 以下まで低減されている。その一方、ディーゼルエンジンを搭載した重量貨物車に対しては、それを利用した輸送・運搬



(a) ガソリン乗用車



(b) ディーゼル重量貨物車

図 1.1 我が国における**NOx**濃度に対する排気ガス規制の推移[2)]

が我が国の経済を支えているということもあり、1900 年代では、ガソリンエンジンを搭載した乗用車に比べてやや緩めの対応になって

いたことは否めない。しかし、1999 年、「ディーゼル車からの排気ガスには、これほど多くのススが含まれているため、そのような車は都内を走れないようにする」と、ススが詰められたペットボトルを振りかざす都知事の主張に端を発した東京都の「ディーゼル NO（ノー）作戦」以来、ディーゼル自動車への風当たりが強まった。このため、粒子状物質（ particulate matter：以下 PM ）への対策も組み込まれた「新短期規制」が 2003 年に実施されることになった。

また、国内全地域でのNO_2の環境基準達成は困難であることと、浮遊粒子状物質による健康被害が問題化していることを考慮して、2001 年には、「自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法（通称「自動車 NOx・粒子状物質法」）」が成立している。この法律によって、首都圏、近畿圏、愛知・三重県などの大都市圏で使用できる車種が制限される厳しい規制が施行された。そして、2008 年には「ポスト新長期規制」と呼ばれる世界で一番厳しい規制が実施され、現在に至っている。

「ポスト新長期規制」では、温度・湿度などが管理された実験室内のシャシダイナモメータ上で、都市走行を想定した運転モードに従って評価車両を走らせて、排気ガス中の成分と濃度を測定し、それが規制値を超えないことが新造車販売の条件になっている。この規制によって 1 台の自動車から排出される大気汚染物質の平均的な量は減少するであろうが、すでに市販、使用されている自動車からの排出量が減るわけではないので、大気汚染状況が急激に改善することはない。規制値は年々厳しくなっているので、旧型車ほど多くの大気汚染物質を排出している可能性がある。特に、整備不良の旧型車からの大気汚染物質を如何に削減するかが重要となろう。

自動車の車検の際に排気ガスの検査項目もあるが、一酸化炭素と炭化水素の濃度測定のみであり、 NOx の測定は行われない。つまり、新車の時よりも大気汚染物質を極めて多く排出するような自動車であっても車検は通るのである。自動車を使用していると、エンジン内での燃料の爆発燃焼時期などのバランスが次第に崩れて、大気汚染物質の濃度が高くなる可能性もある。この状態になれば整備が必要であり、この状態で道路を走行すれば整備不良車となる。黒煙を吐き出して走行する大型自動車を目にすることからすれば、現実的には、排気ガス濃度が規制値を超える自動車も道路を走行しているものと推測される。

走行中の自動車から排出される大気汚染物質の濃度を測定するための車載型の装置も市販されているが、道路に設置した装置で、自動車を特定しながらその濃度を測定することはできない。この点からすれば、走行中の自動車から排出される大気汚染物質を“その場”測定できる方法の開発が必要と思われる。

自動車や工場などから排出され NOxが高濃度になれば、光化学スモッグが発生したり、各種の健康被害を引き起こすことは明白である。このために、「大気汚染常時監視測定局」と呼ばれる大気汚染状態を常に監視する測定局が地方自治体などによって設置されている。測定局は以下の二つに分類される。一つは「一般環境大気測定局（以下、「一般局」）」であり、一般環境大気の汚染状況を監視する。さらに「自動車排出ガス測定局（以下、「自排局」）」が設けられ、自動車走行による大気汚染が憂慮される交差点、道路及び道路端付近の大気を対象にして汚染状況を監視している。測定局で測定された NO_2 濃度の測定値は中央監視局に伝送され、1 時間平均値として公表されている。

NO_2 濃度に関する大気環境基準は、大気汚染防止法に基づき1978年7月11日に告示された。「1時間値の1日平均値が 0.04 ppm から 0.06 ppm までのゾーン内又はそれ以下であること」と設定されている。この基準を満足しているかどうかを判断するために、上述の測定局において NO_2 濃度が測定されている。

これらのように、道路近くの多くの地点でNO_2 濃度などが測定され、公表されているが、その値は1時間平均値であり、大気汚染物質の濃度が急増しても早急な対応はできない。また、大量に排出する整備不良車の特定もできない。これらのことからも、大気汚染状況の常時監視、そして大気汚染物質の“その場”測定が必要と考えられる。

1.2　従来の研究

(1) 大気汚染常時監視測定局の測定結果を用いた研究

大気汚染常時監視測定局の測定結果を用いて実施した研究は数多く見られる。

小木曽[3]は、東京23区の道路沿道大気（自排局）の NOx 濃度は1980年以降低下し続けているが、一般環境大気（一般局）では横ばいとなっている原因は、自動車からの排出量の減少と自動車以外からNOx排出量の増加とが考えられ、都市と沿道を中心にした汚染状態の経緯と現況を述べている。新藤[4]は、1970年代から数多く提案されてきた大気汚染観測系最適設計手法が有効であるためには、大気汚染の空間分布構造や統計的性質が季節や年によって大きく変化せず安定していることが必要であるが、1977年度から1988年度までの 12 年間にわたる常時監視データの解析から、これらのことは成り立たず、既存の手法を用いて決定した最適観測系は年によって大きく異なることを示している。大気汚染の場の経年的変化を検出

し、更に測定局における測定値から地域の濃度変動をより精度良く推定するための方策が必要であるとしている。河野ら[5]は、大気中のNOx濃度が 1975 年から殆ど低減していない原因を調べるため、約 20 年間の一般局の NOx 濃度 、 NO_2 濃度とNOx 排出量、自動車交通走行台キロ、自動車排ガス規制の年次効果、道路延長距離の関係について解析し、自排局と一般局の NOx 濃度とNO_2 濃度の経年変化の差について考察した結果、1994 年までの 10 年間のNOx 濃度が低減しない主原因として自動車交通の増大とディーゼルトラックの排ガス規制の遅れを挙げている。水野ら[6]は、都市部のNOxや浮遊粒子状物質（ Suspended Particulate Matter：以下SPM ）の最近の濃度減少に対して、1999 年度と 2005 年度における自排局と一般局の濃度差と道路交通センサスの結果を組み合わせることによってディーゼル車とガソリン車の寄与率を推定している。国土交通省では、自動車の利用実態に関するアンケート調査である道路交通センサス（全国道路・街路交通情勢調査）を都道府県・政令指定都市をはじめ、関係機関と協力して概ね 5 年毎に全国一斉に実施している。道路交通センサスは、道路が現在どのように使われているか、道路整備の現状はどのようになっているのか等について全国規模で調査することにより、将来における道路交通計画を策定するための基礎資料を得ることを目的として実施している。

公的機関によって測定された大気汚染物質の濃度に基づいて大気汚染の原因などを究明する試みは、日本ばかりでなく海外でも多く行われている。Stuart, A. L. et al.[7]は、アメリカのフロリダ州タンパを例にとり、人口構成要員が異なる地域間の環境大気汚染と、そのモニタリング体制の差異を調査している。解析用のデータベースには人口統計、発生源データ、モニタリング局データ、大気汚染濃度データを用いている。Singh, A. K. et al.[8]は、インドの七都市

の1995年及び2000年の住宅地区及び工業地区での浮遊粒子状物質（SPM）、SO_2（二酸化硫黄、sulfur dioxide）、NOxの測定データを比較して大気汚染の動向を検討した。例えば、産業都市であるAhmedabad市では工業地区においてSPMが増加したが、住宅地区では高濃度ではあるものの増加傾向は無かったことや、教育文化都市であるPune市では住宅地区においてSPMが高濃度であったが 5 年間で減少したとしている。

これら国内外の研究は、我が国の大気汚染常時監視測定局などの公的機関による監視施設での測定値に基づいて大気汚染の原因などを考察しているのみで、それが配置されている地区の全般的な、長期的な汚染状態の推移や傾向を概観しているに過ぎず、例えば道路沿道で歩行者が有害物質に曝されている実態を確実に捉えるには不十分と言わざるを得ない。

また、道路交通センサスは 5 年に一度全国各地で一斉に実施される交通状況調査であり、1 時間ごとの台数・車種・大型車の混入率・ピーク時間の台数・実施時期による交通量の推移など詳細なデータが得られ、測定局の 1 時間値との対比に適しているが、交通量が直接汚染状態に及ぼす影響を判断するには即時性という面で難点がある。

(2) 沿道などでの実測値に基づく研究

研究者が可搬型の装置を用いて沿道などで大気汚染物質の濃度を測定し、その結果に基づいて大気汚染状況などを調べた研究もある。

三浦[9]は、湿式のザルツマン法を用いて、国道 1 号線の道路の両側でNOx（NOとNO_2）、O_3（オゾン、1 時間値）、風向風速（1 分間値）を 1987 年から 1994 年まで連続測定するとともに 1994 年 1 月に 5 日間、鉛直方向に 3 水準の NOx 濃度を測定し、自動車排ガ

スによる沿道 NOx 濃度増加とNO_2濃度の構成要因別寄与率の推定、冬季の光化学反応によるO_3生成を介した沿道NO_2濃度の増加および沿道 NOxの鉛直濃度分布の特徴について解析している。湿式のザルツマン法を用いている。伊永ら[10]は、液滴法に基づくサンプリング装置を試作し、大気中 NO_2の捕集と、ザルツマン法により吸光光度計で濃度を測定している。丸尾ら[11]は、狭域でのNO_2の高密度測定を可能にするために蓄積型センサを用いたNO_2モニタリングシステムを開発している。蓄積型センサは基板である多孔質ガラスにザルツマン試薬を含浸させて作製し、その光透過率から算出される。このNO_2センサを 4 台岩手県盛岡市の近郊に設置し，1999 年 5 月から 2001 年 12 月まで各点における 1 時間毎の NO_2 濃度をモニタリングしている。柳沢ら[12]は、フィルターバッジと呼ばれる環境濃度レベルの測定が可能なパーソナルサンプラーを開発し、個人被曝量の調査を容易にしている。この装置はトリエタノールアミンを含んだ吸収濾紙の上に撥水性濾紙を重ねたもので、常時観測ステーションの地域代表性の検証や沿道の詳細なNO_2濃度分布の測定の可能性を示唆している。このようなサンプラーを用いてNO_2曝露量を人口密度の異なる 3 地域（上野、柏、つくば）に対して調査した大野ら[13] の例もある。小田ら[14]は、上述のトリエタノールアミンの含浸ろ紙入りカプセル（天谷式簡易サンプラー）を用いて、汚染物質排出源が少ないことから大気汚染常時監視測定局が配置されていない岡山県の交通量の多い国道沿道のNO_2 濃度を測定し、県内の他の測定局の結果と比較し、必ずしも低濃度にはなっていないことを示している。星野[15]らは、測定方法の内容は明記していないが、長野市など 6 カ所の交差点周辺でNOxなどの実測調査をおこなっている。NOx濃度は、NO、NO_2同時測定用サンプラーを使用し、24 時間曝露した後に測定し、冬期と夏期での平均濃度の比較を行っ

ている。Cowie, C. T. et al.[16]は、特に二酸化窒素（NO_2）および粒子状物質（PM）の濃度と分布への新規道路トンネルの影響を調べて、交通量変化との関係を明らかにしている。特に、NO_2の空間的微細変動を評価し、NO_2変化がバイパス幹線道路近くで最も大きいことを示している。

これらのように、沿道などの大気汚染の状況を研究者が調べた研究はこれまでにいくつか報告されている。これらの調査では、ザルツマン法、パーソナルサンプラー（パッシブサンプラーとも呼ばれる）、簡易サンプラーによってNOxやNO_2などの濃度が測定されており、比較的長時間にわたる平均的な濃度が測定されている。このような測定値は大気汚染常時監視測定局での１時間平均値と対応させるには都合がよいとともに、それらの測定は容易で、多地点での同時測定が可能であって、濃度分布を調べやすい。それらの方法にはいくつかの長所があるが、短時間での濃度変化に伴う対応は不可能であり、大気汚染物質を大量に排出する整備不良車を特定することはできない。つまり、このような整備不良車を道路走行中に特定するためには、短い時間間隔で“その場”測定可能な新しいNOx濃度測定法の開発が必要であることが示唆される。

(3) 車載型排出ガス計測装置を用いた研究

車載型排出ガス計測装置を用いて、交通の状況つまり車両の走行条件に対するNO_2濃度の変化を測定した報告もいくつかある。高田ら[17]は、NOx，PM排出係数に影響を及ぼす要因を明らかにするために、車載排出ガス計測装置を搭載した小型貨物自動車を用いて路上走行試験を行ない、NOx 、PM排出係数に影響を及ぼす要因は、道路インフラ、交通状況および車両挙動の夫々に存在することなどを明らかにした。ここでNOx 、PM排出係数とは、自動車は、車種、

燃料、エンジン、年式、後処理装置、規制適合年度、積載量、走行速度により排出する窒素酸化物量が異なるため、実験室のシャシダイナモメータで測定したデータにこれらを加味して排出量を算出する数値である。近藤ら[18]は、実路走行時におけるディーゼル車両の走行状態と、粒子状物質を含む排出ガス情報を取得することができるオンボード計測システムについて検討し、1988 年排出ガス規制対応の貨物用トラック（ 1993 年式 ）、3.63 ℓ エンジン搭載車を用いて実験を行っている。トラックには、マイクロ希釈トンネル、スモークメータ、NOx分析計など、25 のデータレコーダが搭載されており各種排出ガスの排出量は、加速時の燃料消費量の増加に伴って増加することなどを報告している。井ノ尾ら[19] は、実路上でのディーゼル使用過程車の走行状態及び排出ガス実態を把握する目的で、上述の計測システムを用いた計測を実施し、NOx排出量は渋滞走行時に多いという結果を得ている。高田ら[20]は、交差点等における発進時にNOx排出係数が大きくなる要因を明らかにするため、車載型のNOx 計測装置を搭載した排気ガス再循環（ Exhaust Gas Recirculation : 以下、EGR）システム付き小型貨物自動車 2 台を用いて路上走行試験を行なった結果、2 台とも低速ギヤ使用時にNOx排出係数が高くなる現象が見られたことから、交差点等における発進時にNOx排出質量が大きくなる要因は、エンジン回転数加速度が大きい低速ギヤ使用時に定常運転と比較しEGR率が低下するためであり、沿道局所の集中的なNOx汚染の要因の一つになっていると報告している。高田ら[21]は、やはり同じシステムによりEGR排出ガス制御付きおよび無しの車両について路上への排出ガス質量の実態を調査している。EGR排出ガス制御付き車両の場合、交差点等における発進加速においてNOx排出係数が高くなった。EGR排出ガス制御が無い車両の場合には、幹線路における渋滞中の緩慢な発進時に

NOx排出係数が高くなるという結果を報告している。また近藤ら[22]は、車載型計測システムによる走行実態調査を検討している。ディーゼルエンジンを搭載した5台を用いて、このシステムの車載 NOx 計などにより測定を実施した結果、シャシダイナモメータ設備による試験結果と車載計測システムとは良い一致を示すことがわかり、広域及び局所的な排ガスの排出実態の解明に有効であることを示している。横田ら[23]は、使用過程の大型ディーゼル車に着目し、排出実態把握や低減対策に関する研究を行った。車載計測システムによる幹線道路での実走行調査を行ない、渋滞走行ではアイドリングモードの排出寄与率が高く、一般走行では加速モードの排出比率が高いという排出メカニズムを明らかにしている。この結果からユーザが取り組める対策として「アイドリング・ストップ」を提案し、NOx排出量や燃費の削減効果があることを確認している。

海外でも車載型排気ガス計測システムの利用、開発は盛んに行われている。Daham, B. et al.[24]は、車載型排出量計測システムを用いてEuro0－4 基準適応車両の排出量を比較した試験結果から、実世界運転条件ではNOx排出量が規制値を超過しておりクルーズ運転の場合にのみNOx排出量が規制値を下回ることを示している。Krimmer, M. et al.[25]は、HOV車線（High-Occupancy Vehicles車線の略で、規定人数以上が搭乗している車のみが走行可能な車線）の排出量低減効果を見るため、ワシントン中心部の道路において排出量計測システムを乗せた車2台を、ピーク時、HOV車線と一般車線に同時に走行させ、NOx、HC（炭化水素）、CO（一酸化炭素）、CO_2（二酸化炭素）の排出量を比較して、時間当り排出量は，HOV車線の方が多いことを報告している。Collins, J. F. et al.[26]は、車載FTIR（ Fourier Transform Infrared Spectroscopy： フーリエ変換赤外分光 ）測定装置を用いて標準サイクルで運転中の極低排出ガス車か

らの排出量および高速度路、幹線道および住宅地区道路での典型的な路上運転中と始動時の排出量を調べている。Weiss, M. et al.[27]は、携帯型排出測定装置を使用して乗用車の路上排出試験を実施した。ガソリン自動車の窒素酸化物とディーゼルおよびガソリン自動車の一酸化炭素および全炭化水素は排出基準以下であるが、ディーゼル自動車の窒素酸化物は最新のEuro5ディーゼル自動車でも排出基準を320±90%超えるとの結果を得ている。Cachon, L. et al.[28]は、8万～30 万kmを走行した火花点火CNG （ Compressed Natural Gas、圧縮天然ガス）機関搭載車の排気性能をウィーンの市街・郊外・高速道路を含む 50kmのルートで、車載排気分析装置とGPS（ Global Positioning System、全地球測位システム）による測定を行い単位距離あたりの排出量を分析している。

これらの研究は、自動車の走行状態と排気ガスに含まれる大気汚染物質の濃度との関連を知るために重要であるとともに、短時間での濃度変動を調べている点では興味深い。しかしながら、これらの測定に用いられている車載型排気ガス計測システムで測定されるNOxやNO_2濃度はppmオーダーであり、「1 時間平均値の 1 日平均が 0.04 ～ 0.06 ppmの範囲内またはそれ以下であること」とするNO_2 濃度の環境基準と比較できる測定値をその装置で得ることは困難である。つまり、その装置をそのまま用いて沿道大気中のそれらの濃度を測定することは精度的に十分でない。また、車載型排気ガス計測システムでのNOxやNO_2濃度の測定値から、沿道において刻々と変化する汚染状態を正確に把握することは困難である。

(4) 整備不良車からの排気ガスに関する研究

クリーンディーゼル自動車が開発されるなどして、ディーゼル自動車の排気ガスも年々清浄化してきたが、今でもマフラーから黒煙

を出して走行する大型自動車も見られる。これは、整備不良の自動車が一般道を走行していることを意味する。新造車に対する排気ガスの規制が年々厳しくなり、大気汚染状況は改善の傾向にあるが、大きく改善されるためには整備不良車の影響を把握して、整備不良車を減らす対策が必要と思われる。

大気汚染に対する整備不良車の影響を調べた研究がこれまでにいくつか報告されている。林ら[29]は、排出ガス規制強化等により正常車の排出量が少なくなると、不具合等により排出量が非常に大きい高排出車の影響度合いが相対的に大きくなるため、自動車排出量推計の信頼性向上のためには、高排出車の存在比率や排出量が重要となるとして、リモートセンシング装置を用いて 2002 年、2004 年、2006 年、および 2007 年度に実施した調査結果に基づいて、ガソリン高排出車の存在比率や排出係数の検討結果を報告している。ガソリン車は平成 12 年規制において排出ガス規制および耐久要件が強化されており、この前後で分別して整理した結果、高排出車の排出係数は正常車（H10～12 年規制）に対して、NOx 濃度で 2.8 ～ 23 倍ものレベルになることを示している。衣笠ら[30]は、高排出量車を含むリアルワールドの排出量推計の精度向上を目的に上記と同じ装置を用いて、路上でガソリン車の高排出車を計測し、高排出量車比率と排出係数を推計している。結果として都市域を走行するガソリン車のうち、5 % 程度の車両は高排出量車で、正常な車両の何倍もの排気を放出しているとしており、そのレベルは 53 年排気規制の 4 ~ 8 倍程度、2000 年において関東圏都市域のガソリン車起因のNOx 総排出量の 50 % 程度を占めると報告している。整備不良車の影響については国外でも調査されており、Zhou, Y. et al. [31]は、大気汚染の深刻な北京市内において、ガソリン乗用車からの排気ガス中の一酸化炭素、炭化水素、一酸化窒素、二酸化炭素を 2004 年 3 月か

ら 5 月の間、北京の 5 箇所でリモートセンシング装置を用いて調査している。

これらのように、自動車の排気ガスに起因した大気汚染には高排出車（整備不良車）の影響が極めて大きいことがこれまでの研究から明らかである。しかしながら、整備不良車に対する効果的対策が取られていないのが現状である。この原因の一つとして、走行中の整備不良車を特定できないことが挙げられる。

(5) 自動車排気ガスの健康への影響に関する研究

田中ら[32]は、自動車排気ガスを中心とする幹線道路沿道部の大気汚染が、学童の呼吸器症状、特に気管支ぜん息に及ぼす影響を明らかにするため、千葉県で主要幹線道路が学区を貫通する都市部の六小学校と田園部の四小学校の 1992 年に 1 ～ 4 年生のものを対象として 3 年間追跡調査を行った。女子児童の気管支ぜん息有症率は 3 年間すべてで都市部の沿道部が最も高率であり、都市部の非沿道部、田園部の順に低下することと、男子児童では 2 年目に同じ傾向が認められたことを報告している。すなわち、沿道部の大気汚染は気管支ぜん息の発症に関与していることが疫学的に明らかである。中村[33]は、大気汚染に主題をしぼって、国内で過去に発表された文献を調査し、環境汚染の実態、拡散・予測、人体・動植物への影響及び対策の 4 種類に整理した結果、1）沿道公害に関する文献数は非常に多いが、そのなかでは環境汚染実態調査に関するものが圧倒的に多く、その他のものは少ないこと。2）大気汚染の影響及び被害の調査手法に問題があって、その実態は正確には把握されておらず、特に人体影響の調査手法の開発が重要であること。3）対策として結実している調査研究が非常に少ないことを示している。大野ら[34]は、自動車排ガスによる局地的大気汚染と健康影響情報との関

連を調査するために酸化窒素（NOx）と微粒子元素状炭素（Elementary Carbon：以下、EC）を指標物質とし、調査対象者ごとの任意地点における大気環境濃度を推計する方法について検討している。背景濃度は一般局データの補間によって推計し、 EC背景濃度は浮遊粒子状物質（ SPM ）濃度推計値にSPMのEC含有率を掛けて求めている。ただし地域的な推計法の調整と、NOxレベルによるEC含有率の調整を行っている。排ガス直接影響濃度の推計は、排出強度（自動車交通量、車種構成）と風向・風速に基づく車道端濃度の推計と、車道端からの対象者居住地点までの距離による拡散式によって行い、これらの推計値は実測値とよく一致したとしている。

大気環境が人間の健康に及ぼす影響に関して橋本[35]は、以下のように解説している。大気汚染の健康影響を行政や司法の場で論じる場合、わが国では国が設定した環境基準が重視され、それとの比較において判断されるのが普通であるが、健康影響を健康被害の生起確率（健康リスク）で判断しようとする動きが既に定着しており、この健康リスクを求めるためのプロセスを健康リスクアセスメントという。リスクアセスメントのプロセスやリスク判定において、わが国ではリスクの有無に分かれる境界の曝露濃度で絶対的な環境基準を設定し、これ以下であれば「リスクなし」とするが、米国の考え方では、曝露濃度とリスクとの関係を先ず設定し、リスクの相対的な大きさを判断することになる。井村[36]は、大気汚染のモニタリングデータや、個人の生活行動実態に関するアンケート調査などの比較的入手が容易なデータによって個人曝露量を推計する手法を開発することを目的に、曝露量評価手法開発の基礎として、幹線道路に接近して設置されている自動車排出ガス測定局のデータと、その比較的近傍に存在する一般環境測定局のデータの両者の比較分析に

よって個人曝露量に対する道路の影響を推測・評価する可能性と限界を検討している。

Klemm, R. J. et al.[37]は、ジョージア州アトランタにおける死亡率に及ぼす大気汚染の影響を知るために、どのようなデータをどの程度の頻度で採取すべきかを検討している。彼らは、原因物質としてPM2.5（Particulate Matter 2.5、直径が2.5μm以下の超微粒子）、EC、O_3、NO_2、CO、二硫化炭素（ Carbon disulfide：以下 SO_2）などを取り上げている。Weichenthal, S. et al.[38]は、交通関連大気汚染と心拍変動における急激な変化の間の関係を調べた。その結果、交通への短期暴露が健康な成人の心臓自律神経機能に著しい影響を及ぼすことを示唆しているが、因果関係は複雑なようである。Fann, N. et al.[39]は、大気汚染が病因となって生じる健康被害について疫学的証拠に基づいて汚染物質の放出リスク評価が進められているが、健康被害のリスク評価には疫学データの精度が重要であり大気汚染質の疫学研究に供する情報や方法論が成果を左右することになるので、リスク評価における誤解や誤導を防止し精度をあげるために良質な疫学研究成果との連携が欠かせないと連携強化を提唱している。状況は、欧米も日本と同様なようである。

沿道大気汚染が住民の健康及ぼす影響について、非常に多くの研究が実施されているが、疫学的な取り組みが目立ち、残念ながら大気汚染状況と健康被害の明確な関係は明らかになっていないのが現状である。この原因の一つとして、大気汚染の状況を正確に把握することが十分でないことが挙げられるであろう。大気汚染常時監視測定局における大気汚染物質の濃度測定や、ザルツマン法などによる平均的な大気汚染の状況把握だけでは、健康被害との明確な関係が得られないことを示唆する。

1.3　本研究の目的

上記のように、自動車の排気ガスには大気汚染物質である窒素酸化物、硫黄酸化物、粒子状物質が含まれ光化学スモッグや酸性雨などを引き起こすとともに、我々人間に健康被害をおよぼしている可能性が高い。特にNO_2が顕著な影響を持っており、大気中と新造車の排気ガス中に含まれるNO_2などの大気汚染物質量の許容範囲が法律として規制されるに至った。この規制値は年々厳しくなっており、新造車から排出されるNO_2濃度は規制前よりもオーダー的に減少するようになった。しかしながら、未だに自動車から排出される大気汚染物質による健康被害の問題は解消されておらず、早急な対策が必要とされている。

大気汚染の現状を把握するために、地方自治体などは「一般局」と「自排局」を設置して、NO_2濃度などを監視している。しかしながら、その値は 1 時間平均値として公表されており、刻々と変化する大気汚染の状況を細かく把握してはいない。特に、道路周辺での大気汚染物質の濃度が大きくなる原因として整備不良車の走行が挙げられるが、このような自動車を特定するために「一般局」と「自排局」の「大気汚染常時監視測定局」でのNO_2濃度などの測定値は全く利用できない状況であり、環境改善のためには、走行中の自動車から排出される大気汚染物質の濃度を“その場”測定できる方法を開発することが必要と思われる。

大気汚染状況の把握とその原因究明を目的として、公的機関によって測定された大気汚染物質濃度の考察が多く行われているが、大気汚染物質の濃度におよぼす因子が多く、十分に大気汚染の状況を把握するまでに至っていない。また、大気汚染の状況を調べたこれまでの調査研究では、ザルツマン法やパーソナルサンプラーなどによって比較的長時間にわたる平均的なNO_xやNO_2の濃度が測定されており、短時間での濃度変動は明らかになっていない。このこと

は、従来の方法では大気汚染物質を大量に排出する整備不良車を特定することはできないことと、整備不良車を道路走行中に特定するためには、短い時間間隔で“その場”測定可能な新しいNOx濃度測定法の開発が必要であることを示唆する。

一方、自動車から排出される大気汚染物質の量と車両の走行状態との関連を明らかにするために、車載排出ガス計測装置を搭載した自動車を実験室内あるいは路上で走行させて、NOx 濃度などが連続的に測定されていることも明らかになった。この測定が自動車からの大気汚染物質排出量の削減に繋がることは確かであるが、この車載排出ガス計測装置を用いて大気中の大気汚染物質の濃度を連続的に測定することは、測定精度的に十分でないことも明らかになった。

そこで本研究では、道路を走行する自動車の中で大気汚染物質を大量に排出する整備不良車を特定できるような新しいNO_2濃度測定法を開発することにした。このためには、道路近くでNO_2濃度を“その場”測定できる方法であること、NO_2濃度をppm以下の精度で測定できること、1 回の測定に要する時間が 1s程度の短時間であることが要求される。また、NO_2濃度の時間変動と、道路近傍でのNO_2濃度の分布を明らかにして、道路近くに居住する地域住民、歩道を歩く人、自動車の運転者の健康維持を図るための基礎的データを得ることにした。

1.4　本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。

第 1 章は序論である。研究の背景を述べたのち、従来の研究例を列挙して現在の国の規制と従来の研究成果をまとめる。これらを考慮して、本研究の目的、特に自動車による大気汚染状況の把握には短時間計測システムの開発が必要であることを明らかにする。

第 2 章では、新しい短時間計測システムに要求される性能と、システムを構成する装置について説明する。そして、この新しいシステムを用いて計測されたデータの処理・解析方法について述べる。

第 3 章では、大気汚染が深刻になっている名古屋市内の国道 23 号線沿道で行った大気汚染状況の調査結果について述べる。その調査結果を調査地点の近くに設置されている「自排局」での測定結果と対応させることにより、本研究で開発した短時間計測システムの特徴を明確化する。

また、本システムによるNO_2濃度の測定から、NO_2濃度の時間変動、整備不良車による高NO_2濃度ガス排出の実態、NO_2濃度と道路からの距離の関係、NO_2濃度の高さ方向分布などを明らかにする。

第 4 章では、本研究で得られた成果に基づいて、整備不良車の特定方法や、歩行者の健康被害抑制のための方法について考察する。

第 5 章は、本論文の結論である。

第 2 章　短時間計測システムの開発

2.1 緒　言

大気汚染の常時監視は、1968年に制定された大気汚染防止法によって地方自治体に義務付けられ、大気環境モニタリング体制が構築された。2009年度末現在、都道府県等により約2,000の測定局で、二酸化窒素、浮遊粒子状物質、光化学オキシダント等の測定が行われている。測定の適正な実施を目的として「環境大気常時監視マニュアル」[20]が1980年に初版が作成された。その内容は、常時監視のための施設としての測定局の種類、配置、測定装置と維持管理、測定結果の処理システム・管理など広範囲にわたり、細かく規定されている。このマニュアルの第1章には測定局に関して以下の記述がなされている。「測定局は、経年変化が把握できるよう、原則として同一地点で継続して監視を実施するものであり、その目的によって、一般環境大気測定局と自動車排出ガス測定局に区分される。一般環境大気測定局は、一定地域における大気汚染状況の継続的把握、発生源からの排出による汚染への寄与及び高濃度地域の特定、汚染防止対策の効果の把握といった目的が効率的に達せられるよう配置する。自動車排出ガス測定局は、自動車排出ガスに起因する大気汚染の状況を常時監視するため、交差点、道路及び道路端付近に設置された測定局をいう。自動車排出ガス測定局は、自動車排出ガスによる大気汚染状況が効率的に監視できるよう、道路、交通量等の状況を勘案して配置する」。このような一般環境大気測定局（一般局）と自動車排出ガス測定局（自排局）によって全国各地の大気汚染状況が継続的に調査されている。

自排局によって測定されたNO_2 濃度とNO濃度の年平均値の年度変化を図 2.1 に示す。平成 22 年度（2010 年度）には前年度と比

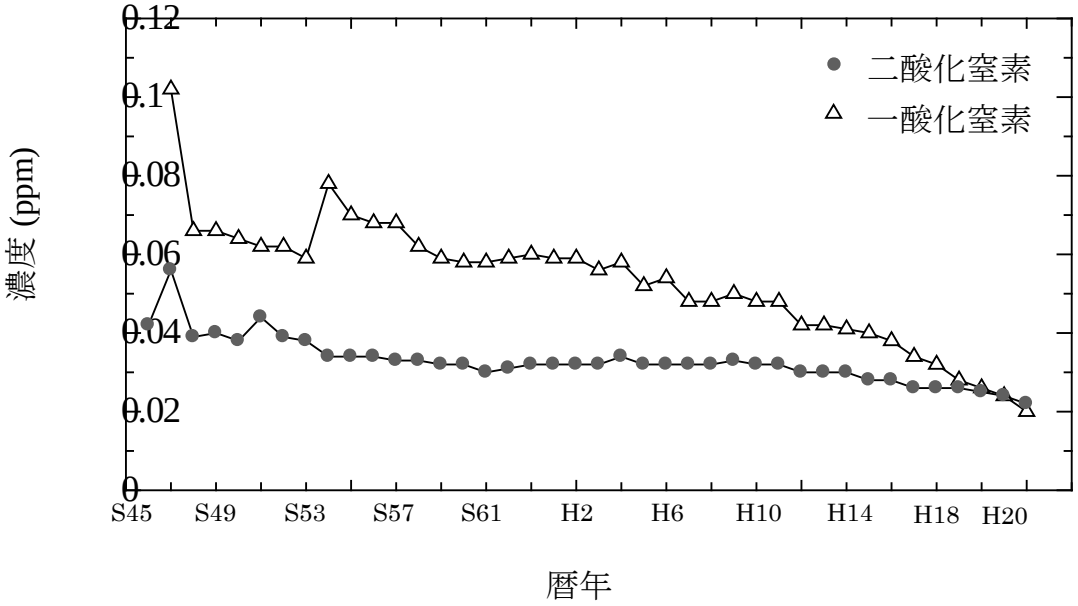


図 2.1　自排局におけるNO_2濃度とNO濃度の測定結果に基づく大気汚染状態の推移[2)]

較すると達成率が 2.1 ポイント改善しているとともに、近年はこれら濃度ともに減少傾向にあることが分かる。しかしながら、図 1.1(a)と図 1.1(b)に示した新造車の排気ガス規制値の変化と比較すると、図 2.1 の変化は極めて緩やかであることが分かる。特に、NO濃度は減少傾向を示しているが、健康に大きな影響を持つとされるNO_2の濃度はほとんど改善されていない。NO_2は自動車などから直接排出されるものと、NOが大気中でオゾン等と反応して酸化されて生成されるものがあり、近年、オゾン濃度が上昇傾向にあることから、これがNOと反応することにより生成するのではないかと推察する研究者もある[2) ,41)]。また、近年、一般局では全国全ての局で環境基準を達成するようになったが、東京都、神奈川県、千葉県、愛知県、

三重県では未だに環境基準非達成の自排局があることも大きな問題である。

このような大気汚染常時監視測定局（一般局と自排局）ではNO_2濃度などが測定され、その１時間平均値が公表され、この値に基づいて環境基準に対する満足度を判断している。しかしながら、NO_2濃度は自動車の通過台数、車種、加速の有無などによって大きく変動すると推測され、1 時間平均値の 1 日平均が環境基準を満足していても、短時間には極めて高いNO_2濃度になっている可能性がある。特に整備不良車の通過の際には高濃度のNO_2が大量に排出され、道路近くの歩行者や地域住民は劣悪な大気に曝されていると推測できるが、この状況に関するこれまでの報告はないとともに、このような状況でのNO_2濃度の測定法はこれまで確立していない。

大気汚染の状況は、大気汚染常時監視測定局での測定ばかりでなく、一般市民などによってザルツマン法に基づく測定も行われている。ザルツマン法に基づく測定では、N-1 ナフチルエチレンジアミン二塩酸塩、スルファニル酸および酢酸の水溶液（ザルツマン試薬）をNO_2の吸収液として大気中に一定時間放置し、水溶液にNO_2が吸収された際に形成される亜硝酸の量を吸光度から測定する。また NOは、ザルツマン試薬とは反応しないので、硫酸酸性過マンガン酸カリウム液を満たした酸化器に通してNO_2に酸化した後に同様に測定する。この方法では、多点での同時測定が容易であるなどの特徴を有するが、試料を吸光度測定装置のある研究所に持ち帰る必要があり、結果が得られるまで時間を要する。また、測定結果はある一定時間における平均値である。さらに簡易的な測定手法である「パッシブサンプラー」も多く用いられてきたが、得られる結果は同様に一定時間内での平均値である。

道路を走行する整備不良車の特定や、歩道上で歩行者が曝らされ

る大気汚染状態を把握するためには、それら従来の方法を適用することはできず、短時間で測定可能な新しいシステムの開発が必要となる。

そこで本研究では、道路を走行する自動車の中で大気汚染物質を大量に排出する整備不良車を特定できるとともに、歩道の大気汚染状態の短時間での時間変動を調べることのできる新しいシステムの開発を試みた。

2.2 NO_2濃度に関する短時間計測システムの構成と測定の手順

2.2.1 NO_2の検出と濃度の測定法

自動車の通過に伴う道路沿道での大気中のNO_2濃度の変動を短時間で測定し、整備不良車を特定できるとともに、歩道におけるNO_2濃度の時間変動を調べるためには、(1)運搬が容易であり、道路近くでNO_2濃度を“その場”測定できる方法であること、(2)従来報告されている自排局での測定値（2010 年度の二酸化窒素の濃度 0.022ppm）から、0.001ppm（=1ppb） 程度の検出感度を有すること、(3)1 回の測定に要する時間が 1s程度の短時間であることが性能として要求される。このことを考慮して、システムの構成を検討した。

NO_2を検出する方法として、O_3を利用する化学発光法、ザルツマン試薬を用いる吸光光度法、非分散形赤外線吸収法、紫外線吸収法、差分光吸収法、定電位電解法、ジルコニア法などがある[42]が、上記の(1)と(2)の要求性能から判断して、O_3を利用する化学発光法が最も優れる方法であると考えられる。

O_3を利用する化学発光法では、NOとO_3の反応に基づく発光の強度がNOの濃度に比例することを利用して、NO濃度を測定する。一方、コンバータに通して、大気中に含まれる窒素酸化物 NOx 濃度

（NOとNO_2の濃度の和）を測定し、コンバータを通さない場合の測定値（NO濃度）を減じてNO_2 濃度を求める[43]。このために、化学発光法に基づくNO_2 濃度測定装置では、大気導入流路または光路を切り替える必要があり、連続測定は不可能である。市販されているその測定装置の一例として、図 2.2 に示す堀場製作所製 APNA-360 型大気汚染監視用 NOx濃度測定装置がある。この装置ではNO_2 濃度に加えてNO濃度と NOx 濃度の測定も可能であるが、出力値が 90s移動平均値であり、対応を必要とすることが分かった。そこで本研究では、その装置を改造して出力値を 1s毎と短時間測定できるようにした。

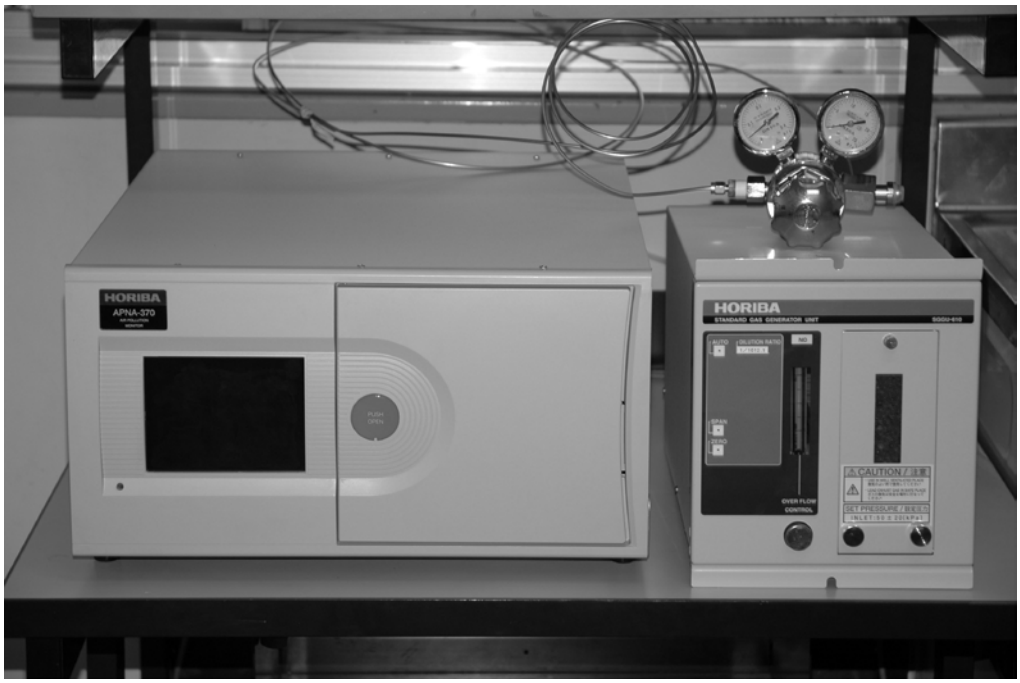


図 2.2　NOx 濃度測定装置及び標準ガス発生器

2.2.2　測定の手順

本研究では、図 2.2 に示した NOx 濃度測定装置などを道路端に

設置して、適当な時間、大気汚染状態を調べることが必要であり、そのための測定手順を図 2.3 に示す。NOx 濃度測定装置の校正、大気のサンプリング、データ処理、データ解析の流れを表している。

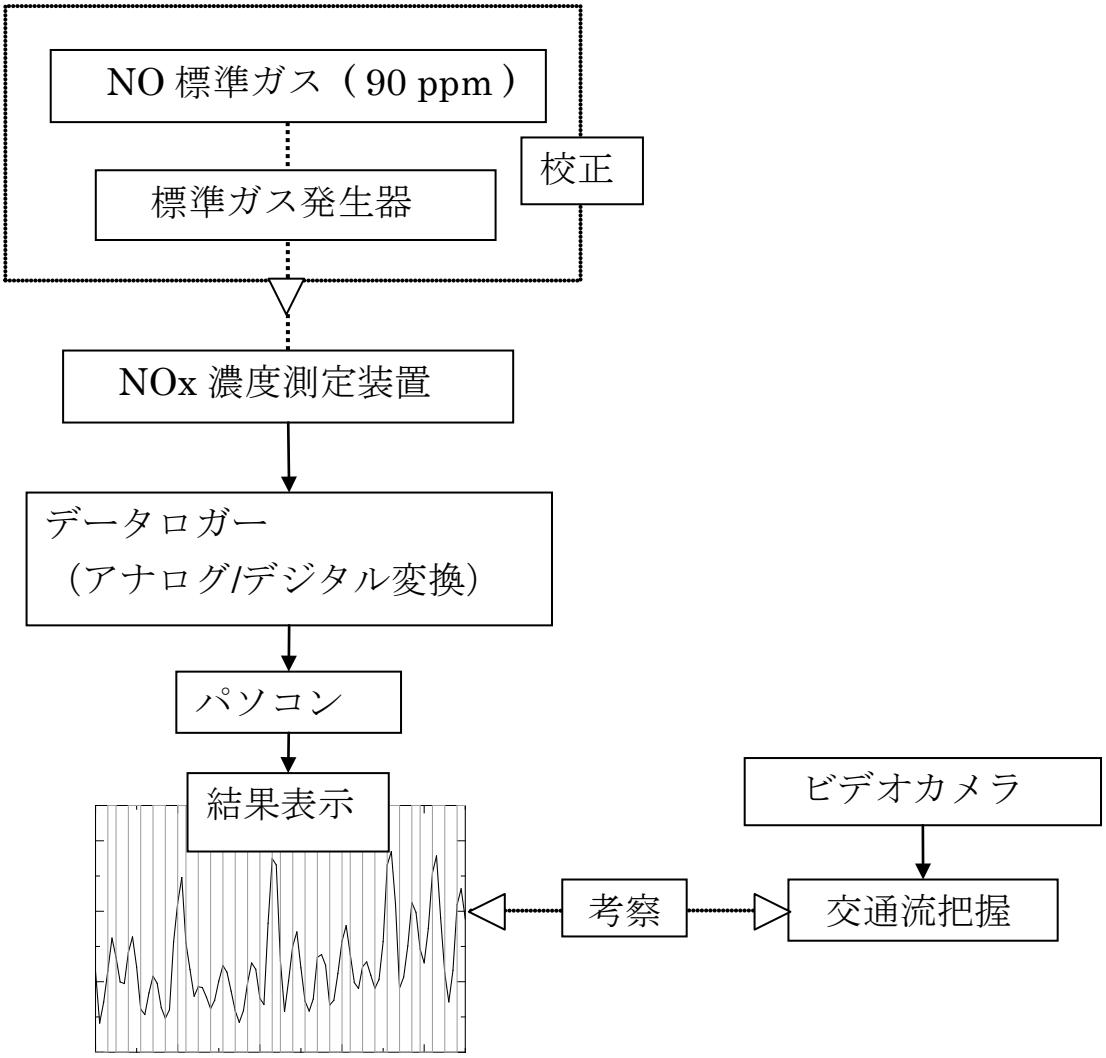


図 2.3　測定方法

測定装置は、測定精度を確保するために標準ガス発生器[44]（堀場製作所製 SGGU-610）を用いて校正を定期的に実施する。この発生器は、NOx 濃度測定装置の校正に必要なゼロガス及びスパンガス

を供給するためのものである。ゼロガスは大気を原料とし、大気汚染物質を精製処理する。スパンガスは精製したゼロガスをバランスガスとして容器詰の既知濃度標準ガスを毛細管式流量比混合法により、さらに希釈し、NOx 濃度測定装置の校正に必要な極低濃度ガスを供給する。本研究では、既知濃度標準ガスとして高千穂化学工業製のNO　90 ppm / N_2 バランス 3.6 ℓ 容器詰を用い、希釈率は 1 / 1000 固定とし、90 ppbの極低濃度ガスを得ている。本装置を用いることにより、従来容器詰ガスでは精度上、安定性等の点で不可能とされていたNOx濃度測定装置のゼロ・スパン校正を簡単かつ精度良く行うことを可能にしている。装置の出力電圧の範囲は 0 ～ 1 V に設定し、これが濃度値 0 ～ 1000 ppb に対応するように標準ガスを使用して校正する。

NOx 濃度測定装置と後述するデータロガーを国道の道路端から最短 1m の距離に設置した会議机上に配置し、地上 2 m の位置からテフロンチューブを介して大気を採取して、その大気中の NOx 濃度を測定する。

2.2.3　データ処理方法

装置からのアナログ出力電圧は 0.1 秒間隔でデータロガーに取り込み、内蔵のA / D（ Analog/Digital ）コンバータによりA / D変換したうえで、オンラインでパソコンのハードディスク内の計測データファイルに保存する。データロガーはトヨタマックスが開発した商品名「汎用PC（ Personal Computer ）データ収集装置」[45]を使用した。

保存した計測データファイルを指定して Excel で読み込めるテキスト形式ファイル CSV ファイル(Comma Separated Values ファイル)の作成を行なう。その後、Excel に取り込んで NOx 濃度値 0

～ 1000 ppb に対応する 0 ～ 1 V の電圧値を濃度値に変換する。このように測定された NOx 濃度値は極めて大きなばらつきを示すので、90s 移動平均をかけてノイズ成分を除去する。

2.3　開発した NOx 濃度測定システムの性能評価

2.3.1　高濃度標準ガスを用いた NOx 濃度測定システムの性能評価

2.2 節に記述した NOx 濃度測定システムの性能を評価するとともに、機器類の操作手順の習得と問題点・要改善内容の摘出を行うために、模擬的な環境での NOx 濃度測定を実施した。

整備不良車や大型車両からの排気ガス中のNOx濃度は 100ppm を超えるとの従来の報告[32)]を考慮して、これよりも高濃度の標準ガスを模擬的な排気ガスとして、前述のNOx濃度測定システムでNO濃度の測定を試みた。その標準ガスは高千穂化学工業製のNO濃度1900ppmの 10ℓ詰のガスボンベを用いた。このガスボンベを手押し台車に固定して、NOx濃度測定装置に接続したガスサンプリング用テフロンチューブ先端の前 1.2mの場所を通過させるという、実際の沿道において自動車がNOx濃度測定装置近くを通過する状況を模擬した実験を行った。ガスボンベを乗せた状態の台車を図 2.4 に示す。ボンベに取り付けた圧力調整器のガス出口にはガス流量を測定するための流量計を繋いである。また、それから吐出するガスは、濃度測定装置のガスサンプリングチューブに向けて扇風機により強制的に送風した。

図 2.4　　NOx 濃度測定システムの性能評価に用いた
高濃度標準 NO ガスのボンベと扇風機

このようにして、整備不良の自動車からの排気ガスに起因した沿道での大気汚染状況を模擬した条件において、前述の NOx 濃度測定システムで NO 濃度の測定を行った。図 2.5 に示すように、ガスボンベから 1900ppm の NO ガスを吐出させながら、ガスサンプリングチューブ先端の前 1.2m を通過させると、吐出開始後 20s の時点で NOx 濃度測定装置によって測定される NO 濃度の値が急増し始める。その後、NO 濃度の測定値は極大を示す。

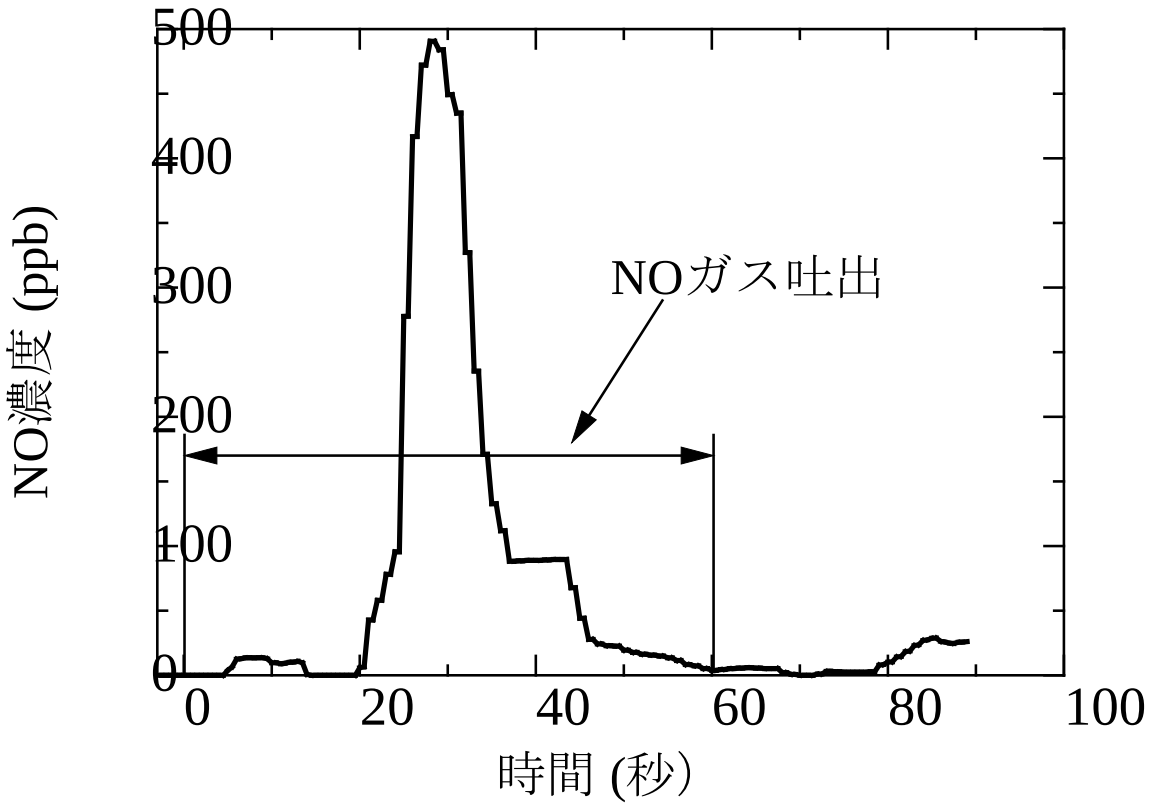


図 2.5　ボンベからの高濃度（1900ppm）標準 NO ガス吐出に伴う NOx 濃度測定装置での NO 濃度測定値の変化

このような NO 濃度の変化とガス吐出口の位置を対応させると、ガス吐出口がガスサンプリングチューブ先端に近づくにつれて大きな NO 濃度となり、それから離れると、やや遅れて小さな NO 濃度になる。つまり、本実験で用いた NOx 濃度測定装置による NO 濃度測定は、僅かな時間遅れがあるものの、優れた応答特性を有することが確かめられる。また、図 2.1 に示した自排局での NO 濃度の測定値（0.02ppm）よりもかなり高濃度である 500ppb（0.5ppm）でも測定できることが分かる。このことは、前述の NOx 濃度測定システムで整備不良車から排出される高濃度の NO なども検出、定量化できることを暗示する。

2.3.2　窒素酸化物濃度測定装置校正用標準ガスを用いた NOx 濃度測定システムの性能評価

前節において、1900ppm の高濃度の NO ガスを吐出した場合でも、開発した NOx 濃度測定システムで NO 濃度を迅速に測定できることが分かったので、次に、低濃度の NO ガスに対する濃度測定での性能を評価することにした。つまり、十分に整備された自動車からの排気ガスによる大気汚染状況を模擬する条件で NOx 濃度の測定を試みた。

90ppm の低濃度の NO ガスとして NOx 濃度測定装置校正用標準ガスを用い、2.3.1 節での測定の場合と同様にして、開発した NOx 濃度測定システムで NO 濃度を測定することにした。この模擬実験の際に用いたガスボンベと扇風機の台車搭載状況を図 2.6 に示す。

図 2.6　NOx 濃度測定システムの性能評価に用いた
NOx 濃度測定装置校正用標準 NO ガスのボンベと扇風機

ガスボンベに取り付けた圧力調節器のガス出口にはガス吐出流量を確認するための流量計を繋いでいる。また、吐出するガスは、濃度測定装置に接続したガスサンプリングチューブ先端に向けて扇風機により強制的に送風した。

整備した自動車の排気ガスによる大気汚染状況を模擬したこのような条件で低 NO 濃度の測定を試みた。ガスサンプリングチューブ先端の前 10cm を NO ガス吐出口が移動した際に測定された NO 濃度の変化を図 2.7 に示す。ガスボンベから 90ppm の NO ガスを 10s

間連続して吐出させながら、サンプリングチューブ先端の前 10cm を動かすと、ある時点で NOx 濃度測定装置による NO 濃度の測定値が急増し始め、NO ガスの吐出を止めても瞬時に NO 濃度の測定値が減少することはなく、ある時間経過後に NO 濃度が減少することが分かる。また、90 ppb の低 NO 濃度の測定が可能であることも分かる。これらの結果は、僅かな時間遅れがあるものの、開発した NOx 濃度測定システムが通常の車両からの排気ガスによる大気汚染状況も十分に検出できる優れた性能を有することを示唆する。

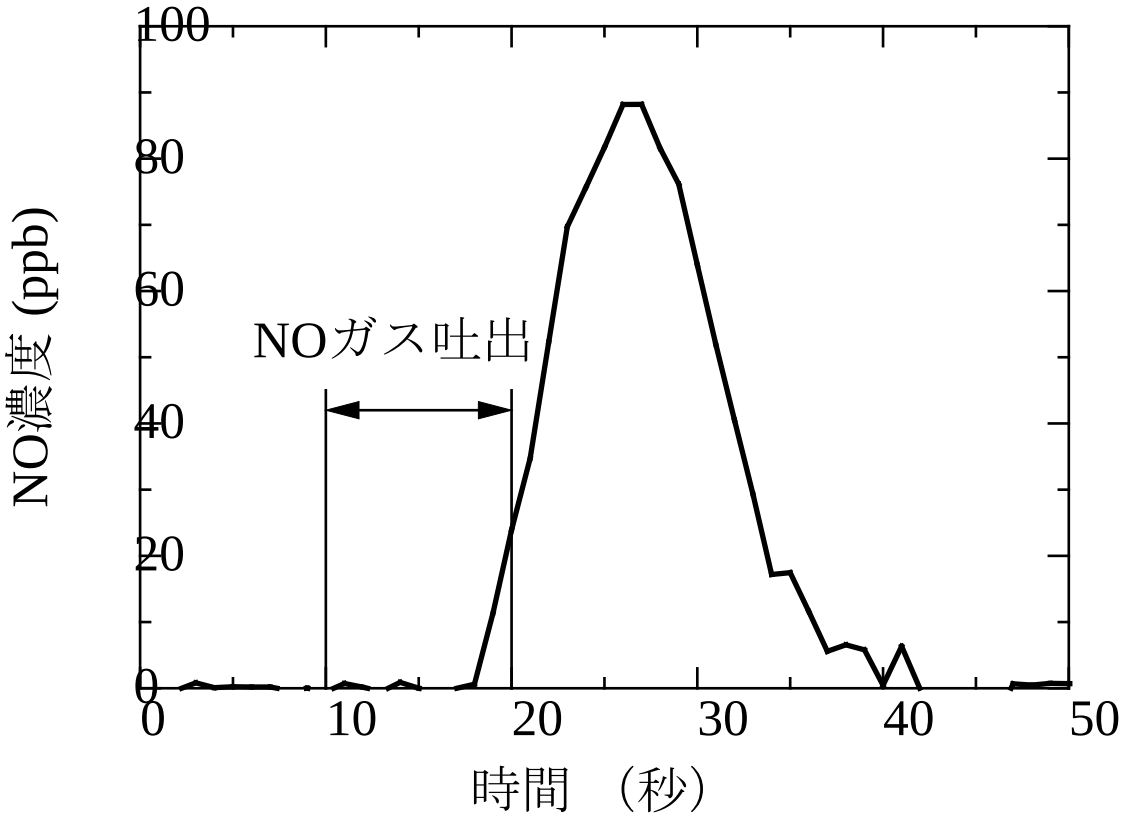


図 2.7　ボンベからの低濃度（90ppm）標準 NO ガス吐出に伴う NOx 濃度測定装置での NO 濃度測定値の変化

2.4 結　言

自動車の排気ガスに起因した大気汚染を抑制するためには、道路を走行する状態で整備不良車を特定して、整備を促すことが効果的である。また、道路近くの居住者や歩行者の健康被害を調べるためには沿道での大気汚染状況を詳細に把握することが必要である。これらを考慮して従来の報告を調査した結果、それらに対して従来の方法を適用することはできず、短時間で測定可能な新しいシステムの開発の必要性が明らかとなった。

そこで本章では、NO_2濃度の測定に用いられているいくつかの方法の特徴を比較検討して化学発光法を選択し、その方法に基づく市販のNOx濃度測定装置を利用、改造して、極めて短い時間間隔でのデータ出力を可能とするとともに、データ処理法に工夫を加えて、短い時間間隔でばらつきが小さなNOx濃度の測定値が得られるシステムを考案した。

その NOx 濃度測定システムの性能を評価するために、NO 濃度の大きく異なる標準 NO ガスを用い、整備不良車や大型自動車の排気ガスと、整備された自動車の排気ガスによる大気汚染の状況を模擬的に調べる実験を行った。1900ppm の高濃度の NO ガスを NOx 濃度測定装置の 1.2m 前で吐出させると、やや時間遅れがあるものの、大気中の NO 濃度として約 500ppb の測定値が得られた。また、90ppm の低濃度の NO ガスを NOx 濃度測定装置の 10cm 前で吐出させると、やや時間遅れがあるものの、大気中の NO 濃度として約 90ppb の測定値が得られた。これらの実験結果から、開発した NOx 濃度測定システムは優れた時間応答特性と NO 検出性能を有することが分かった。

これらの結果から、開発した NOx 濃度測定システムを利用すれば、道路を走行する自動車の中で大気汚染物質を大量に排出する整

備不良車を“その場”で特定できるとともに、歩道の大気汚染状態の時間変動を詳細に調べることができることになる。

第 3 章　国道 23 号線沿道での大気汚染状況の調査

3.1　緒　言

第 2 章で述べたように、分析精度と時間応答性に優れる新しい NOx 濃度測定システムを開発できた。このシステムを用いれば、道路を走行する自動車の中で大気汚染物質を大量に排出する整備不良車を“その場”で特定したり、歩道の大気汚染状態の時間変動を詳細に調べることができる。そこで、このシステムを利用して、交通量の多い道路際での NOx 濃度の測定を行うことにした。

第 1 章で述べたように、愛知県内には環境基準が達成されていない自排局がある。また、愛知県名古屋市南区元塩公園近くの国道 23 号線は片側 3 車線で交通量が多く、地域住民が「名古屋南部訴訟」を起こした歴史がある。これらを考慮して、この地域は大気汚染が深刻であると推測して、この地域での NOx 濃度を測定することにした。

この国道 23 号線沿道の元塩町には公園内に自排局が設置されている。この元塩公園自排局は、一方通行で、通行車両が少ない側道を挟んで、国道 23 号線の道路端から 12m離れている。大気の採取口は道路面から 3～4mの高さにある。このような元塩公園自排局におけるNO_2濃度として名古屋市から公表されている一例を図 3.1 に示す。なお、この測定値は 1 時間平均値である。2003 年 12 月 24 日におけるNO_2濃度は、深夜 0 時から 6 時までの間は比較的低いが、朝 6 時を過ぎると濃度が高くなり始め、8 時から 11 時の時間帯は 60ppbを超える高い濃度になっている。11 時を過ぎると僅かに低下するが、12 時から 22 時の時間帯は 50～60ppbでほぼ一定になっている。「1 時間平均値の 1 日平均が 0.04 ～ 0.06ppmの範囲内またはそれ以下であること」とするNO_2濃度の環境基準からすれば、元

塩公園自排局でのNO_2濃度はやっと環境基準をクリアする程度であることが分かる。また、NO_2濃度が時間帯つまり交通量などによって大きく変動することも分かる。

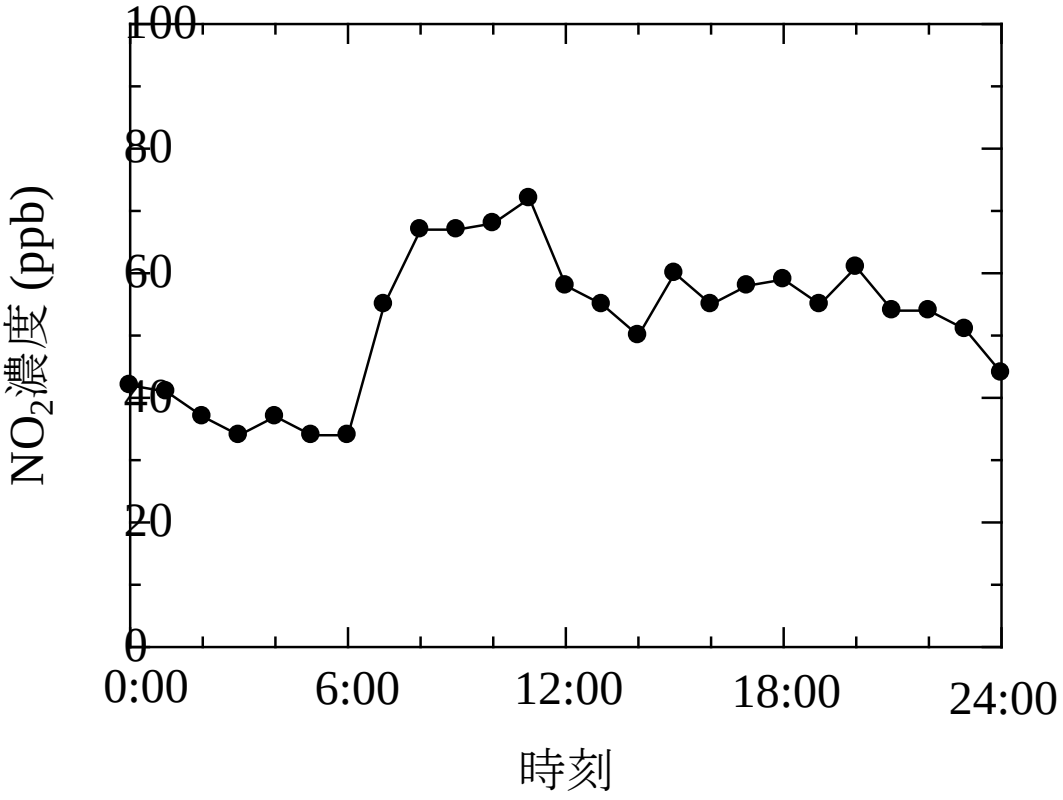


図 3.1　名古屋市元塩公園自排局において測定された
2003 年 12 月 24 日のNO_2濃度

国道から 12m離れた元塩公園自排局でのNO_2濃度がやっと環境基準をクリアする程度であることから、国道脇では環境基準を超えるNO_2濃度になっている可能性がある。また、元塩公園自排局の大気採取口は 3～4mの高さにあり、路面近くはさらに高濃度になっている可能性もある。さらに、整備不良車が通過した際など、短時間ではあるが、極めて高いNO_2濃度になっているであろう。これらのように、道路近くの大気汚染状況を正確にするためには、自排局で

の測定値のみで議論することはできない。

そこで本章では、開発した NOx 濃度測定システムを用いて、愛知県名古屋市南区元塩公園近くの国道 23 号線における大気汚染状況を調べた結果について述べる。また、その測定結果を元塩公園自排局で測定された結果と比較することにより、自排局での大気汚染監視の問題点について考えるとともに、開発した NOx 濃度測定システムの特徴を明らかにする。

3.2　調査方法

3.2.1　NOx 濃度測定地点

NO_2 濃度を測定した国道 23 号線、愛知県名古屋市南区元塩公園近くの位置を図 3.2 に示す地図上に、測定地点①～⑥を図 3.3 の詳細地図上に示す。地点①は、市道本星崎東西第 4 号線と交差する国道 23 号線沿道の歩道上で道路端からの距離約 1 mの国道を走行する車両から排出される排気ガスを採取しやすい位置である。地点②は、地点①から 75m離れた歩道上である。また、地点③～⑤は国道に交差する市道本星崎東西第 2 号線脇に配置し、地点⑥は地点②から 180m、地点①から 250m 離れた歩道橋上である。

国道 23 号線は通称「名四国道」と呼ばれており、愛知県名古屋市と三重県四日市市を結ぶ産業道路である。このために、昼夜を問わず大型貨物自動車の通行量が多いのが特徴である。また、図 3.3 の図中に示すように､測定地点①の近くには元塩公園自排局がある。

3.2.2　測定機器の設置

大気汚染状況の調査には、開発したNOx濃度測定システムに加えて、車両の通過台数と車種を調べるためのビデオカメラ、大気の流れを調べるための風向風速計を用いた。これらの各種測定機器を、

図 3.4 に示すように道路際などに設置して大気汚染状況を観測した。測定機器は、道路端から 1m離れた歩道上の折りたたみテーブルの上に置き、国道を走行する車両から排出される排気ガスを採取しやすいようにした。NOx濃度測定装置に繋がったサンプリングチューブの先端は道路面から 2mの高さに固定した。また、NO_2濃度の測定地点近くの車両の通行状態を把握できるように、地点⑥の歩道橋上にビデオカメラを設置した。この状態を図 3.5 に示す。片側 3 車線の国道を走行するすべての車両の状況が把握できるように撮影した。

このように、数多くの測定地点を設定することにより、沿道直近の歩道上での汚染状態、国道からやや奥まった細街路沿いにおける汚染状態、歩道橋上での汚染状態を細かく把握することにした。

図 3.2　国道 23 号線の位置と本研究でのNOx濃度測定地点[47)]

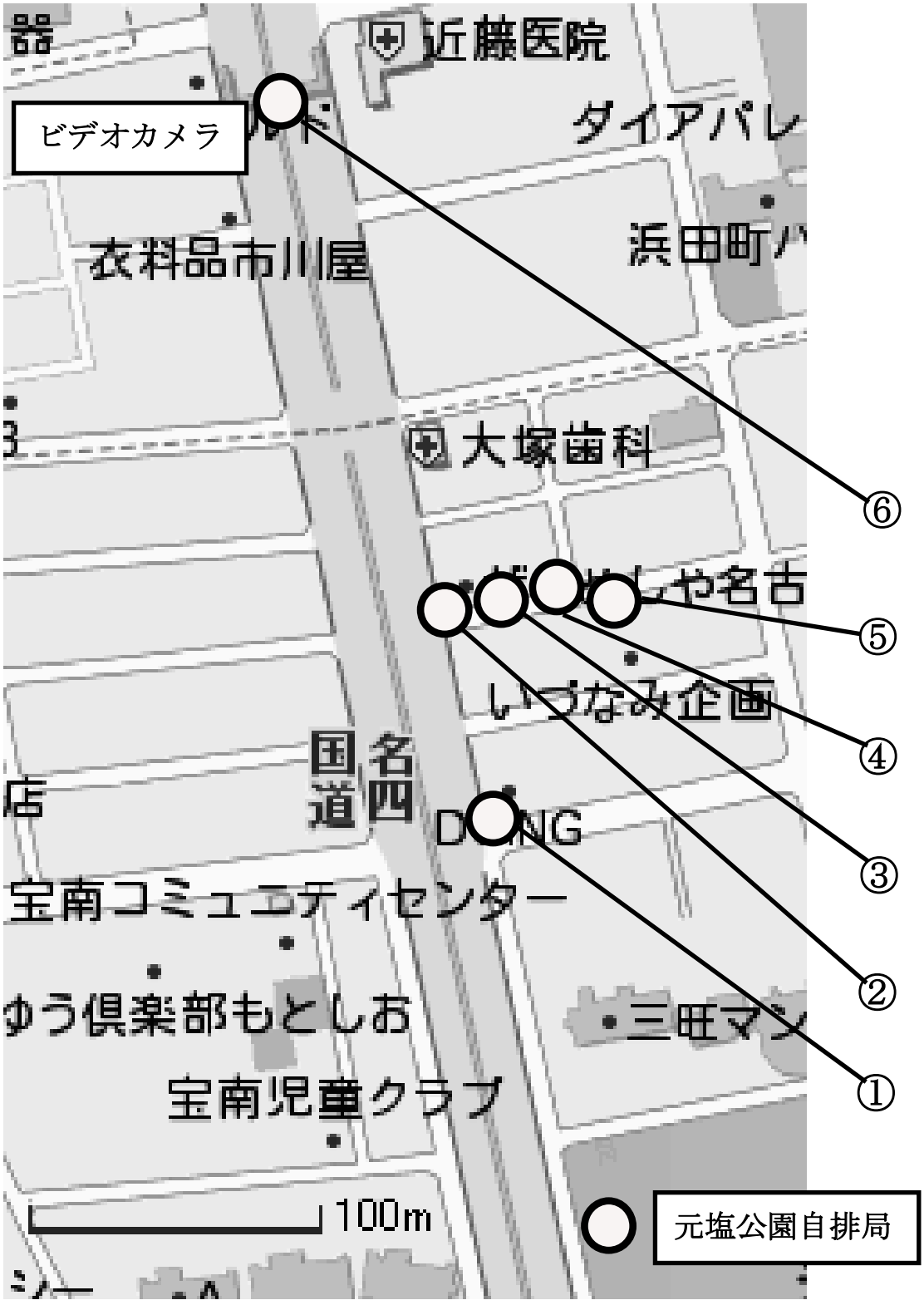


図 3.3　本研究での NOx 濃度測定地点①～⑥と
元塩公園自排局の位置[47)]

図 3.4　道路際での測定機器類の設置と NOx 濃度測定風景

図 3.5　地点⑥の歩道橋上におけるビデオカメラの設置状況

3.3　調査結果および考察

3.3.1　大気汚染状況調査のための NOx 濃度測定システムの適用

本研究で開発したNOx濃度測定システムを用いて国道 23 号線名古屋市南区元塩公園近くの大気汚染状況を調査した一例として、地点④において 30 分間NO_2濃度を測定した結果を図 3.6 に示す。測定されたNO_2濃度は時間的に大きく変動すること、その変動は周期的であり、周期はほぼ 3minであること、NO_2濃度はほぼ 20～60ppbであり、瞬間的には環境基準の 60ppbを超えることが分かる。このような知見は、時間応答性に優れる本NOx濃度測定システムでの測定を行って初めて明らかになったことであり、本NOx濃度測定システムが沿道大気の汚染状態を正確に把握することのできる優れたシステムであることを示す。

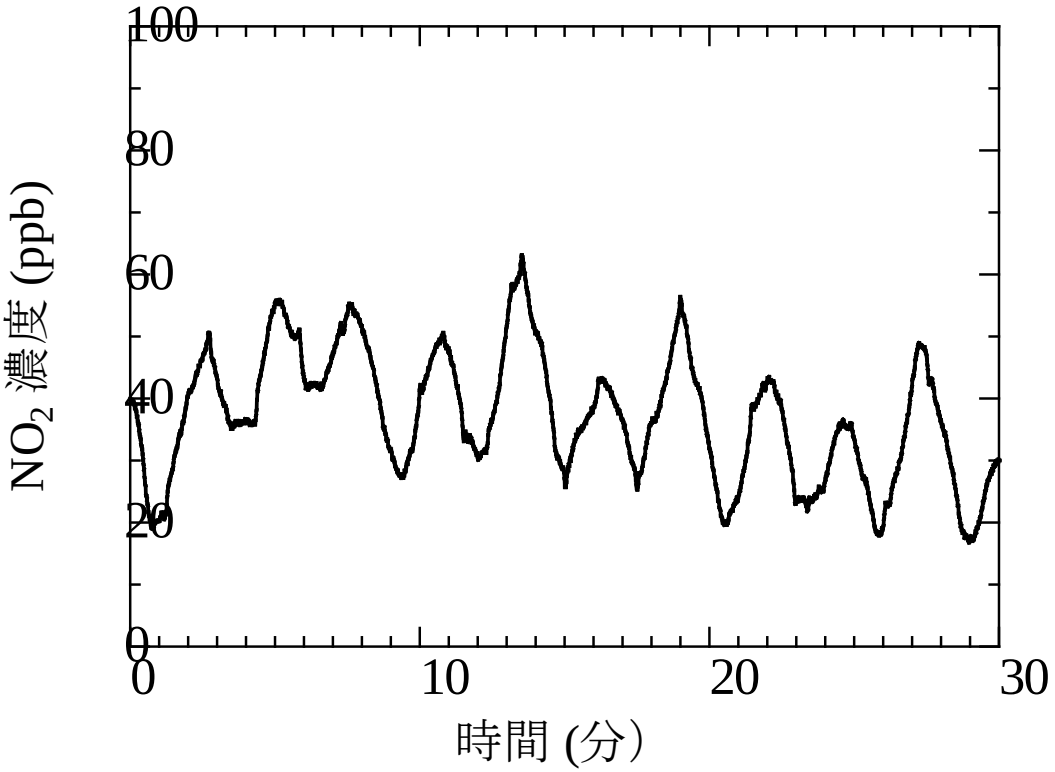


図 3.6　開発した NOx 濃度測定システムを用いて
測定した測定地点④での NO_2 濃度の時間変化

3.3.2　時間帯による大気汚染状況の変化

3.3.2.1　渋滞のない時間帯での NOx 濃度の時間変化

図 3.1 に示した元塩公園自排局でのNO_2濃度の測定値から明らかなように、時間帯によって大気汚染の状態は変化する。そこで、いくつかの時間帯に分けて、大気汚染状況を調査した。

渋滞が無く、国道上の車両は 25km/h 以上の車速で走行している時間帯において、開発した NOx 濃度測定システムを用いて地点③で測定した NOx 濃度の時間変化を図 3.7 に示す。2003 年 12 月 19 日 12：45 から 45 分間の NOx 濃度の時間変化にも約 50～300ppb の範囲での周期的な NOx 濃度の変化が認められる。また、このようにして測定された NOx 濃度の短時間計測値を平均化すると 156ppb になった。

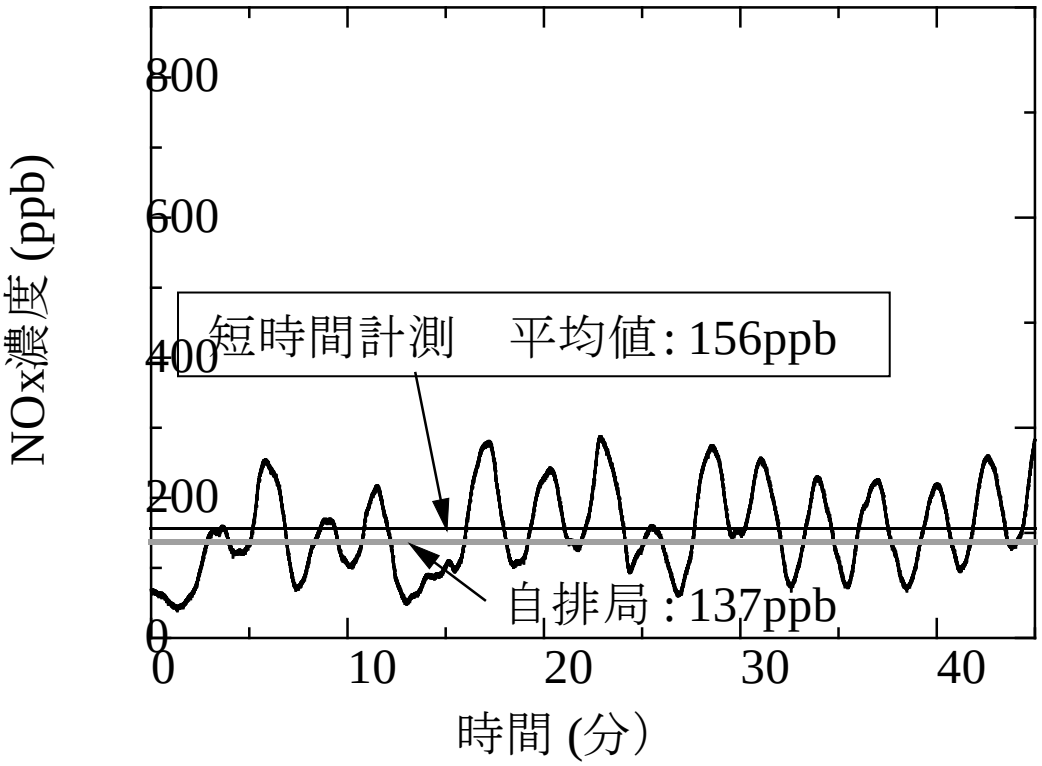


図 3.7　開発した NOx 濃度測定システムを用いて測定した
測定地点③での NOx 濃度の時間変化
（2003 年 12 月 19 日 12：45 に測定開始）

また、この時間帯における通過台数および車両の種類は、1 サイクル 3 分間の各信号サイクルにおいて、大型貨物の通過台数は 50 台程度であり、乗用車 100 台、小型貨物 50 台を含めての合計通過台数は 200 台前後であった。

この時間帯での元塩公園自排局での測定値（1 時間平均値）は 137ppb であり、本研究で測定された短時間計測値の平均値 156ppb と近い。このような状態であれば沿道の全体的な汚染状態を自排局での測定値から議論できるようにも思われるが、実際の NOx 濃度は時間的に大きく変動し、その最大値は自排局での測定値の 2 倍以上の 300 ppb に達していることを理解しておく必要があろう。

3.3.2.2　渋滞が発生した時間帯での NOx 濃度の時間変化

国道 23 号線では交通量の増大によってしばしば渋滞が発生する。この渋滞発生時における大気汚染状況を調べた。渋滞が発生している時に、地点①から 5m 程度東へ奥まった場所において NOx 濃度を測定した。一例として 2003 年 12 月 22 日 13：15 から 45 分間測定した NOx 濃度の時間変化を図 3.8 に示す。最大 800ppb の極めて高い NOx 濃度が検出されるとともに、150～800ppb と極めて大きな濃度の振幅を示す周期的な変化が認められる。このような NOx 濃度の短時間計測値を平均化すると 336ppb になった。

この時間帯における通過台数および車両の種類は、1 サイクル 3 分間の各信号サイクルにおいて、大型貨物の通過台数は 100 台程度であり、乗用車 90 台、小型貨物 10 台を含めると、合計通過台数は 200 台前後であった。前節での渋滞がない場合の通過台数と比較すると、合計通過台数はほぼ同じであるが、大型貨物が約 2 倍となっている。

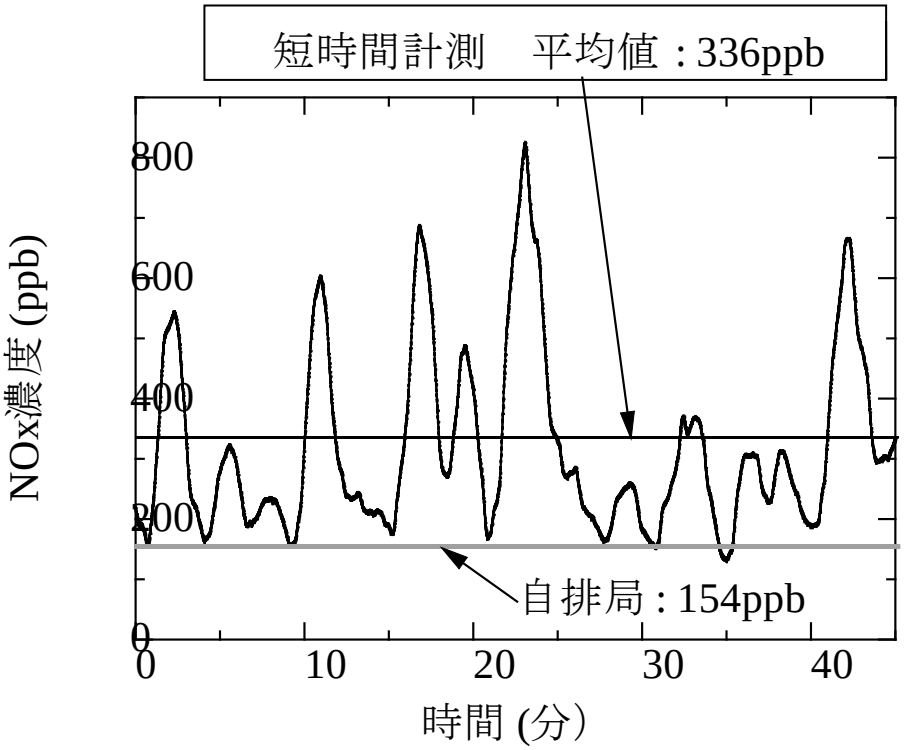


図 3.8　開発した NOx 濃度測定システムを用いて測定した
測定地点①奥における NOx 濃度の時間変化
（2003 年 12 月 22 日 13：15 に測定開始）

この時間帯での元塩公園自排局での測定値（1 時間平均値）は 154ppb であり、本研究で測定された短時間計測値の平均値 336ppb と大きく異なる。この原因は明確ではないが、渋滞発生時の特徴であった。このことを考慮すると、元塩公園自排局の方が国道 23 号線から遠い場所で大気のサンプリングを行っており、自動車から排出された高 NOx 濃度のガスが周りの大気で希釈されるためか、その高 NOx 濃度のガスの多くは道路近傍に滞留しているためと推測される。

また、図 3.8 における NOx 濃度の時間変化において、3 分、11 分、17 分、23 分、42 分に鋭い大きなピークが認められ、そのピー

ク値は 500～800ppb にも達する。この値は環境基準よりも 1 桁大きく､その地点では極めて過酷な大気環境に曝されることになって、健康被害を引き起こすことが心配される。

このような短い時間範囲での NOx 濃度の時間変化を自排局で測定される 1 時間平均値では捉えきれず、沿道における大気汚染の状況を自排局での測定値から把握することはできないことになる。また、NOx 濃度の時間変化に大きなピークが時々出現する場合には、その時間帯に渋滞が発生していることが暗示される。

合計通過台数がほぼ同じで、大型貨物自動車が多くなるこの時間帯に NOx 濃度が大きくなることからすれば、NOx による大気汚染の元凶として大型貨物自動車の排気ガスが疑われる。

3.3.2.3　異なる時間帯でのNO_2濃度の時間変化

大気環境基準が定められているNO_2濃度に注目して、いくつかの時間帯における大気汚染状況を調べた。図 3.9 に示すように、地点①での測定状況を示す。目の前を走行する車両から排出される排気ガスを採取しやすい位置に測定機器類を配置した。

図 3.9　地点①における道路際での測定機器類の設置と
NOx 濃度測定風景

このようにして測定した測定地点①での 2003 年 12 月 24 日 6 時頃におけるNO_2濃度の時間変化を図 3.10 に示す。NO_2濃度は 20～120ppbで大きく周期的な変化を示す。このNO_2濃度に関する測定値の平均値を求めた結果、64ppbとなった。この値は、この時刻における元塩公園自排局での測定値（1 時間平均値）34 ppbよりもかなり大きい。

この時刻における国道 23 号線の交通の状況を図 3.11 に示す。通過台数は多いものの、車両群は車速 20km/h 程度で流れており、渋滞までには至っていない。

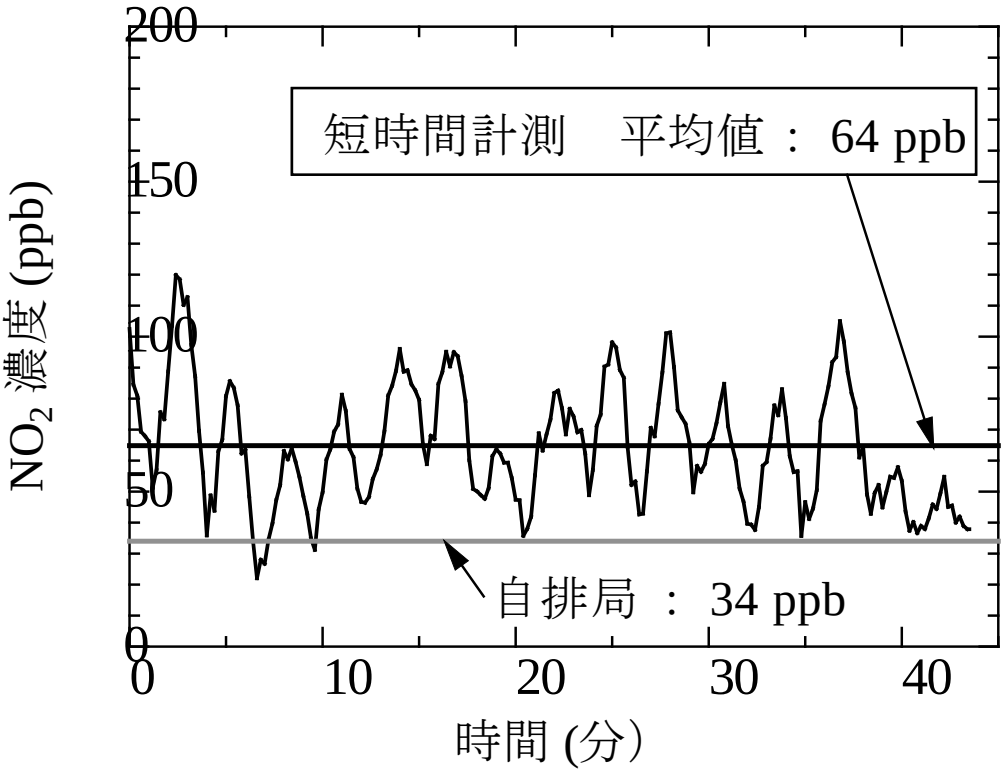


図 3.10　開発した NOx 濃度測定システムを用いて測定した
測定地点①におけるNO_2濃度の時間変化
（2003 年 12 月 24 日 5:55 に測定開始）

元塩公園自排局での測定値は 34ppbであり、「1 時間値の 1 日平均値が 0.04 ppm から 0.06 ppm までの範囲又はそれ以下であること」とするNO_2濃度の環境基準を満たしているものの、本システムによるNO_2濃度の測定値は時々この環境基準濃度を超えている。このような短時間の環境基準超過が健康被害を及ぼすか否かについては分からないが、このような高濃度のNO_2を時々吸引することによる健康への影響が危惧される。

図 3.11　2003 年 12 月 22 日 5：55 における測定地点①付近の国道 23 号線の状況

図 3.12 は、2003 年 12 月 24 日 6：45 から測定されたNO_2濃度の時間変化を示す。NO_2濃度は 30～170ppbにあり、大きなNO_2濃度のピークが認められる。しかしながら、図 3.10 に認められたような周期性は認められない。

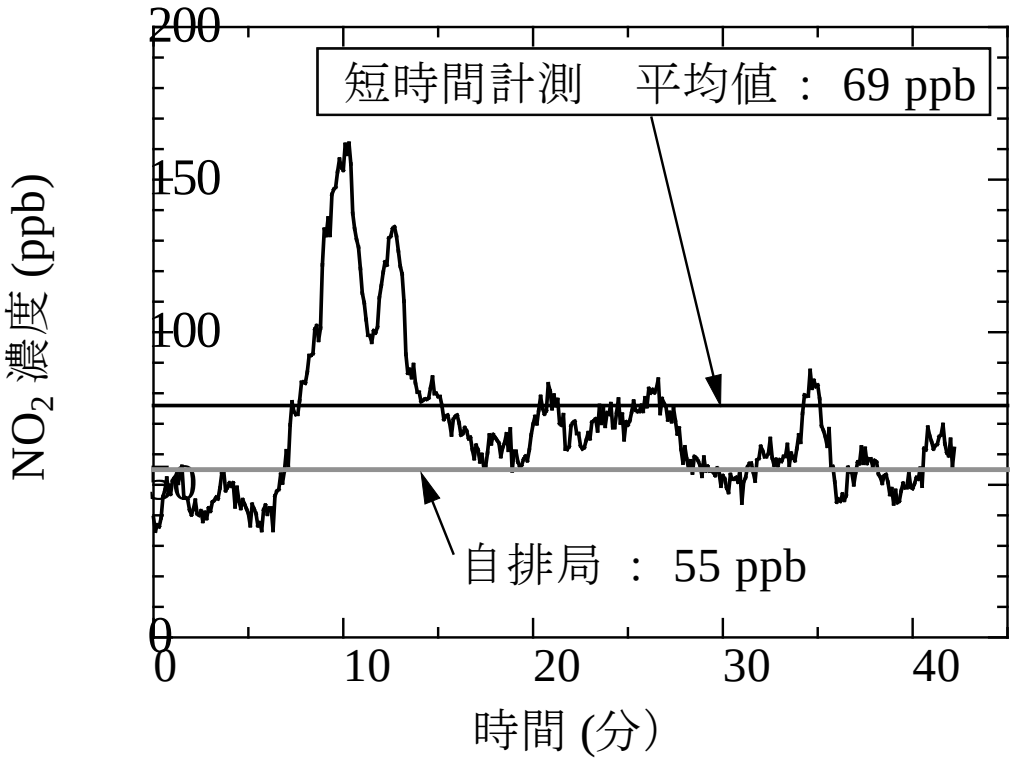


図 3.12　開発した NOx 濃度測定システムを用いて測定した
渋滞時の測定地点①におけるNO_2濃度の時間変化
（2003 年 12 月 24 日 6:45 に測定開始）

この時刻における国道 23 号線の交通の状況を図 3.13 に示す。なお、測定地点①は、図中の上方に見える「つり具のマルハン」の看板と、その下の制限速度表示の交通標識のほぼ中間の位置にある。信号が青の状態でありながら、すべての車両のストップランプが点灯しており停車状態が続いている。また、遥か前方の丹後通交差点付近まで車両が数珠つなぎになっており大渋滞の様相を呈しているのがわかる。

図 3.13　2003 年 12 月 22 日 6：45 過ぎにおける
測定地点①付近の国道 23 号線での渋滞の状況

図 3.12 において、測定開始後 10 分に、160ppbを超えるNO_2濃度のピークが認められる。この時刻における交通の状況をビデオカメラの収録映像で調べた結果、車両の流れが極端に悪くなり、ほとんど停止状態になる状態であった。大渋滞では数珠つなぎの状態で移動と停止を繰り返し、発進時に多量の排気ガスが排出され、それに伴ってNO_2濃度が増加するように感じられた。

その測定時刻における元塩公園自排局での測定値は 55ppb であり環境基準を満たしていた。しかしながら、本システムによる測定値の平均は 69ppb と環境基準値よりも大きい。このように、国道

23 号線の歩道などの道路近くでは環境基準が満足されていない可能性があることと、瞬間的には環境基準を遙かに超える劣悪な大気に歩行者などが曝されていることが分かる。

このような道路近くでの大気汚染状況を考える際に重要な知見は、本研究で開発した NOx 濃度測定システムでの環境計測によって初めて明らかになったことであり、本 NOx 濃度測定システムの有用性が改めて確かめられる。

3.3.3　整備不良大型車通過時のNO_2濃度とNO濃度の変化

図 3.12 で示したNO_2濃度の時間変化において、測定開始後 10 分に 160ppbに達する大きなピークが認められた。このような大きなピークの出現は特異な現象であることを考慮しながら、ビデオカメラによる収録映像からその原因を調べた。

大きなピークが出現する約 1min 前に、煙を大量に排出しながら大型貨物自動車 2 台が通過していた。この状況を図 3.14 に示す。それら大型貨物自動車が中央の車線を走行している。

図 3.12 に示したNO_2濃度の時間変化と同時刻に測定したNO濃度の時間変化を図 3.15 に示す。NO_2濃度とNO濃度の時間変化を示す曲線はよく似ており、NO_2濃度とNO濃度はほぼ比例して変化することが分かる。また、NO_2濃度が約 160ppbのピーク値となる時のNO濃度は 800 ppbであることが分かる。

第 2 章において、1900ppm の高濃度 NO 標準ガスを用いたシステムの性能評価結果を示したが、この際に測定された NO 濃度のピーク値は 500 ppb であった。これらの排出源濃度と測定濃度の関係から単純計算すると、図 3.14 に示した大型貨物自動車 2 台が 3000 ppm 程度の高濃度 NO ガスを排出していることになる。

図 3.14　2003 年 12 月 22 日 6：55 頃、測定地点①で極めて大きな NO_2濃度が測定された時の国道 23 号線の状況

このような高濃度の NO ガスを排出する自動車が一般道路を走行しているとすれば、その自動車は整備不良車である。本研究で開発した NOx 濃度測定システムとビデオカメラによる映像記録を組み合わせることによって、整備不良車を無人で特定できる可能性をこの結果は示している。

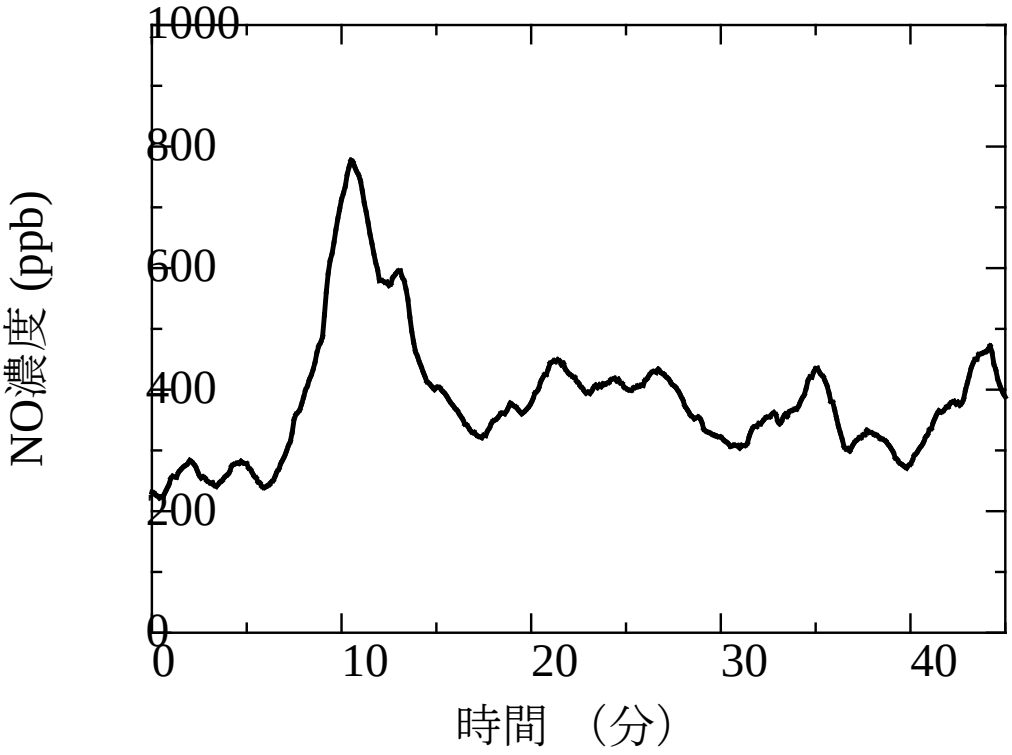


図 3.15　測定地点①において、図 3.12 で示したNO_2濃度の
時間変化と同時刻に測定した NO 濃度の時間変化
（2003 年 12 月 24 日 6：45 に測定開始）

3.3.4　NO_2濃度とNO濃度の周期的変動の原因

測定地点④において、2003 年 12 月 18 日 15：00 から 45min 測定した NOx 濃度の時間変化を図 3.16 に示す。この時間変化には、周期変動が認められる。この周期はほぼ 3min であり、測定地点近く交通信号の周期と一致する。そこで、「青信号」、「赤信号」の点灯時刻を図中に示して、交通信号の切り替わりと NOx 濃度の時間変化を対比する。ハッチングを施した時間範囲が赤信号の点灯時間帯を示す。

図 3.16 から明らかなように、NOx 濃度の時間変化に認められた

周期的変動は交通信号の切り替わりとよく対応しており、その変動の原因は交通信号にあることが分かる。

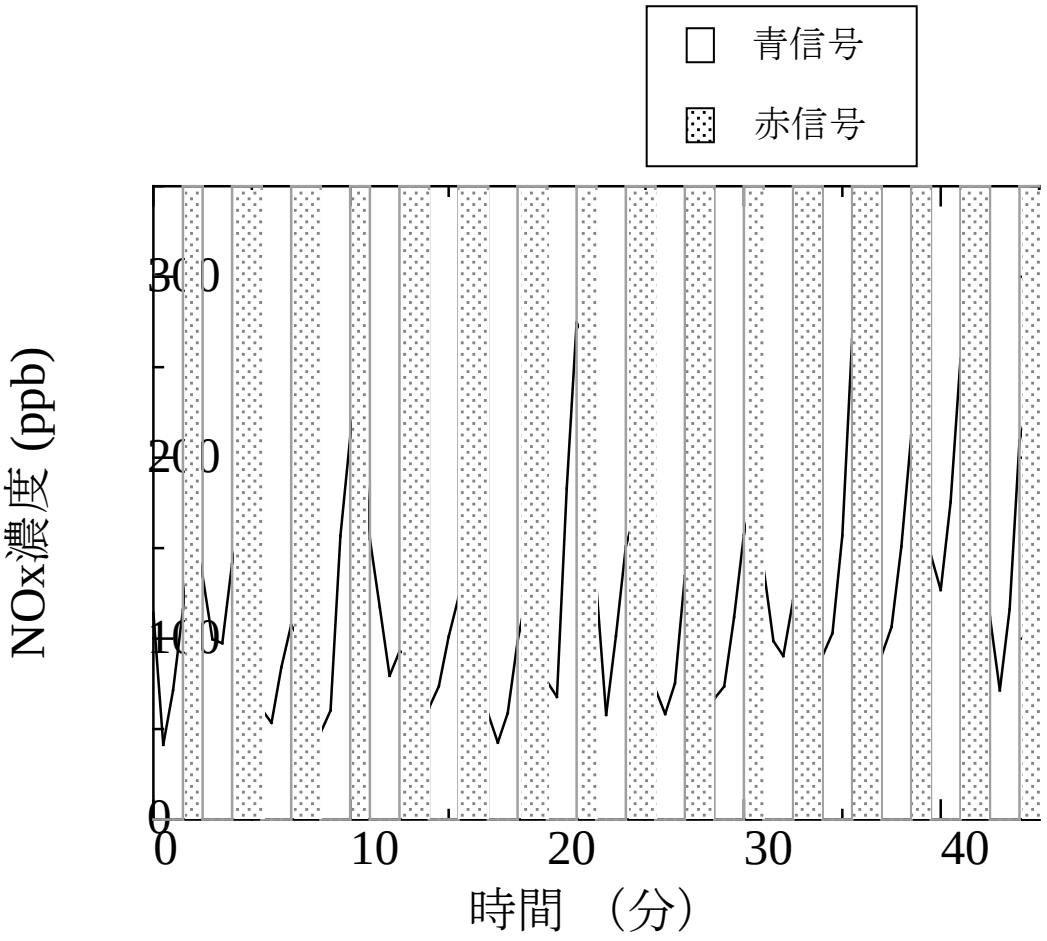


図 3.16　測定地点④における NOx 濃度の時間変化と、
測定地点④近くの交通信号点灯時刻との対応
（2003 年 12 月 18 日 15:00 に測定開始）

3.3.5　NO_2濃度の水平方向分布

国道 23 号線から細街路沿いのNO_2濃度の水平方向分布を知るため、測定地点②から⑤に測定機器類を配置して、4 カ所で同時測定

した。各測定地点の配置の詳細を図 3.17 に示す。この細街路は幅 6 mで通過車両がほとんどない場所であり、国道 23 号線に対して地点⑤から奥は住宅街となっている。

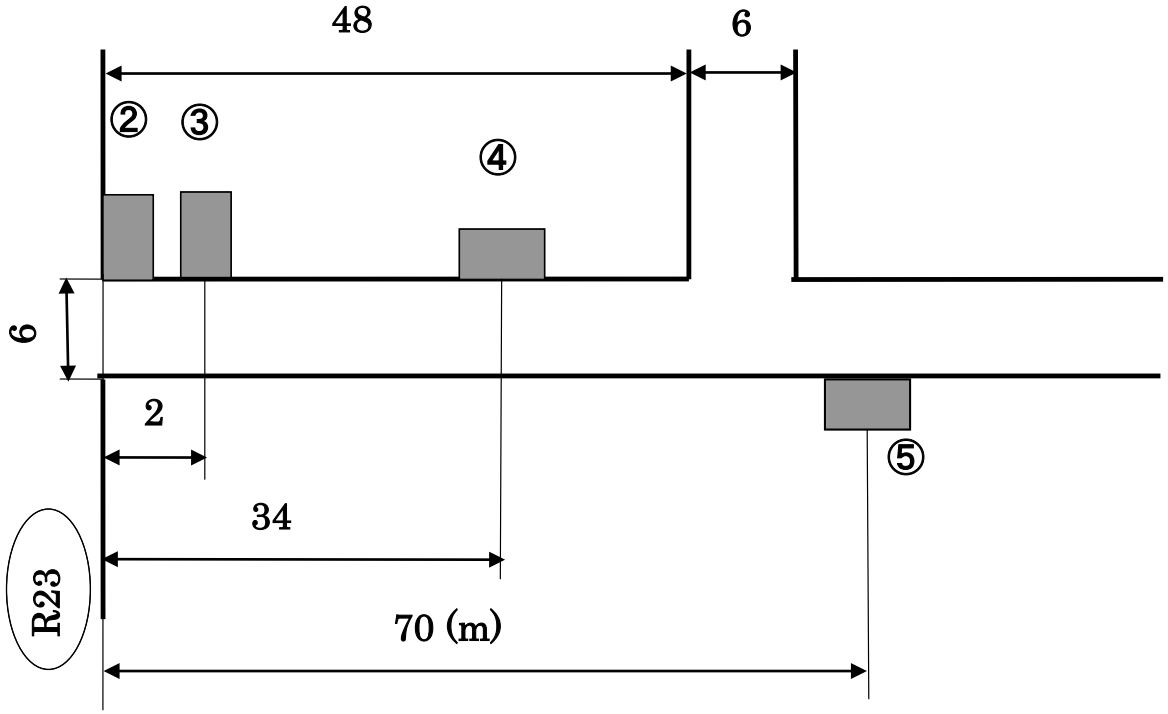
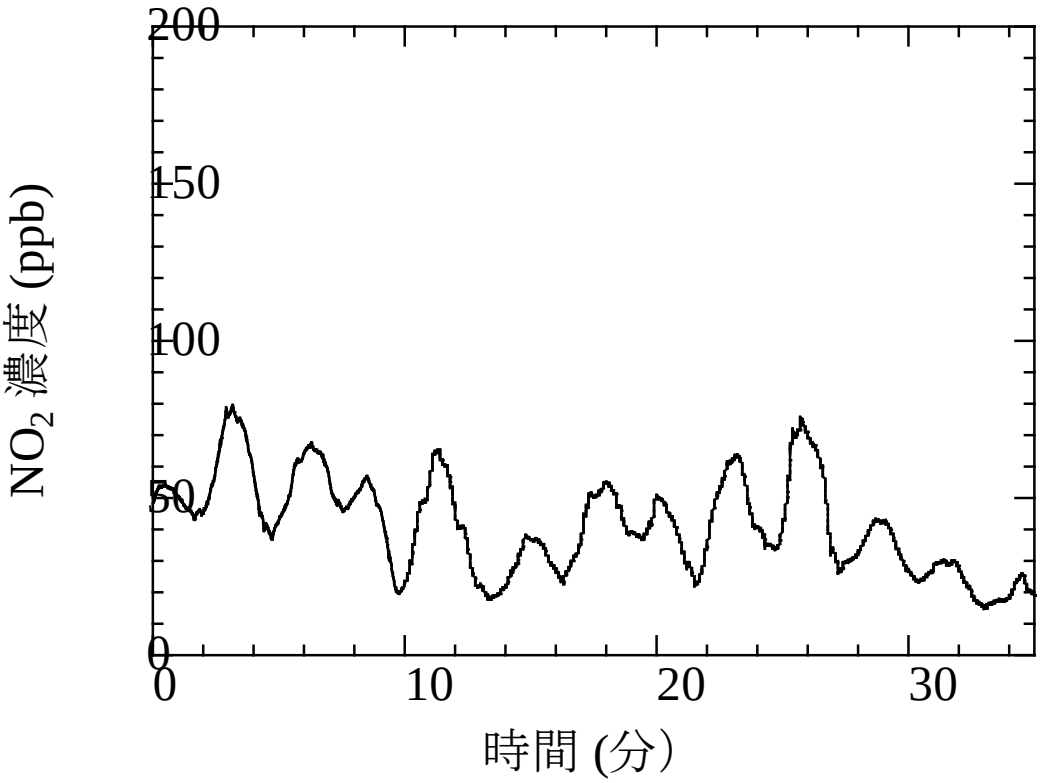


図 3.17　NO_2濃度の水平方向分布を調べるための測定地点

本研究で開発したNOx濃度測定システムを用いて測定地点④において測定したNO_2濃度の時間変化を図 3.18 に示す。測定地点④は国道 23 号線の道路端から 34m奥まった細街路沿いの地点であり、このように大きく離れた地点でもNO_2濃度が周期的に変動することが分かる。しかし、NO_2濃度は 20～80ppbと、道路際の測定地点①での測定値よりもかなり小さくなっていることが分かる。つまり、国道から細街路に排気ガスが流れ込んでくることと、その大気に含まれるNO_2の濃度は国道から離れると小さくなることが分かる。

図 3.18　測定地点④におけるNO_2濃度の時間変化



（2004 年 9 月 21 日 11：25 に測定開始）

そこで国道からの距離が異なるいくつかの測定地点でNO_2濃度の時間変化を同時測定した。測定地点②、③、④、⑤において同時測定したNO_2濃度の時間変化を図 3.19 に示す。国道からの距離にかかわらず、すべての地点で測定されたNO_2濃度の時間変化には、周期 3minの変動が認められる。前述のようにこの周期変動は交通信号の切り替え起因しており、その周期変動が国道から遠くなっても認められることから、大気中のNO_2の拡散はあまり起こらないことが分かる。

図 3.17　測定地点④における NO_2 濃度の変動
（測定開始時刻 2004 年 9 月 21 日 11：25 からの 35 分間）

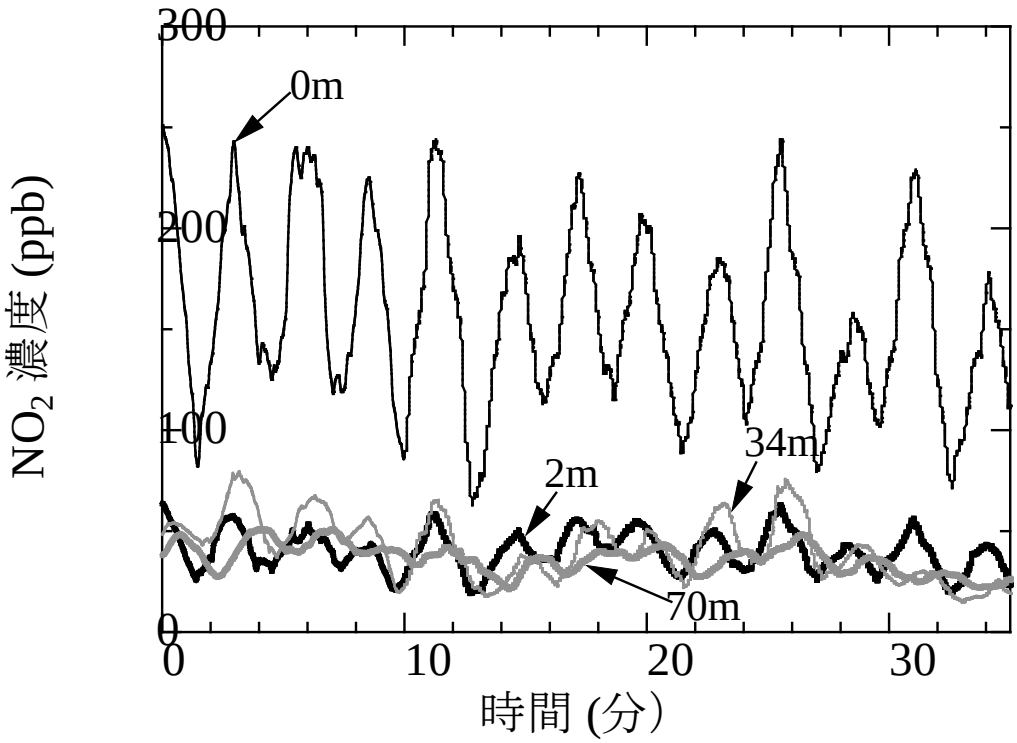
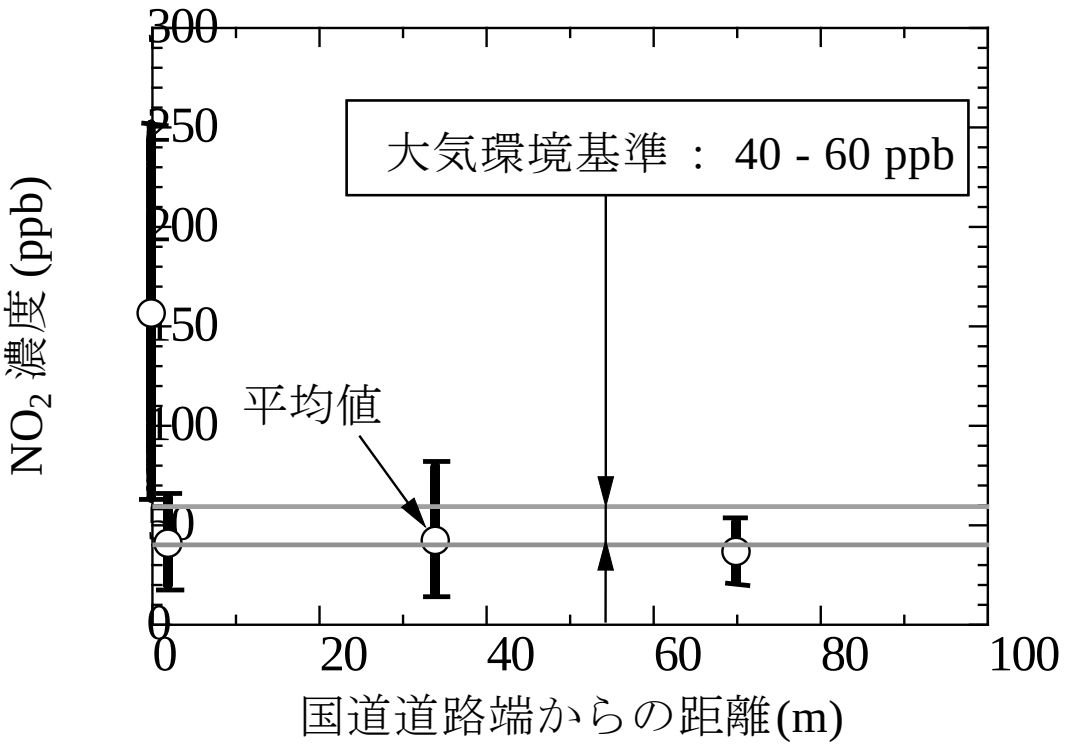


図 3.19　測定地点②、③、④、⑤において同時測定された
NO_2濃度の時間変化
（2004 年 9 月 21 日 11：25 に測定開始）

図 3.19 に示した各測定地点でのNO_2濃度と、測定地点の国道 23



号線からの距離との関係を求めて、図 3.20 に示す。図には、各地点における濃度の測定結果をすべてプロットし､その変動幅を示した。また、図中の○印はNO_2濃度の平均値である。この平均NO_2濃度は道路端において 150ppbと高濃度であるが、国道 23 号線から 2m離れるだけで 38ppbまで急減する。それよりも遠く離れても平均NO_2濃度はあまり変化しない。また､国道 23 号線から離れるに従って、NO_2濃度の測定値の時間変動幅が小さくなるように見える。さらに、国道 23 号線から 70m離れると、平均NO_2濃度が 36ppbとかなり低濃度になるとともに、変動幅も小さくなって、すべての時刻において環境基準以下のNO_2濃度になることが分かる。

図 3.20　図 3.19 に示したNO_2濃度の時間変化から求めた
NO_2濃度と国道 23 号線からの距離との関係

3.3.6　NO_2濃度の鉛直方向分布

自動車から排出された排気ガスの拡散を検討するために、NO_2濃度の鉛直方向分布を調べた。図 3.3 の図中に示す測定地点⑥の歩道橋上に、国土交通省の許可を得たうえでNO_2濃度測定装置を配置し、直下の中央分離帯に向けて地表から 2mの高さにガスサンプリング用テフロンチューブの口を設置した。最も内側の車線を走行する車両に接触しないように、チューブはアルミ製の支持棒に固定し、安全を確保した。また、歩道橋上の高さ 2 mの位置、つまり道路面から高さ 8 mの位置にもガスサンプリング用テフロンチューブの口

を設置した。このようなガスサンプリングチューブの設置状況を図3.21に、歩道橋上での測定風景を図3.22に示す。

図3.21　NO_2濃度の鉛直方向分布を調べるための
ガスサンプリングチューブの設置

図 3.22　測定地点⑥の歩道橋上での測定風景

このようにして高さ 2mと 8mでNO_2濃度を測定した。これらの測定値も時間変動したが、それらの測定値のすべてと道路面からの距離の関係を図 3.23 に示す。この図における○印はそれぞれの高さで測定されたNO_2濃度の平均値であり、測定値は変動幅として示してある。

高さ 2mの位置ではNO_2濃度の平均値が 50ppbと高濃度になっているが、8mの位置になると 25ppbにまで急減して、この測定時間帯の最大値でも環境基準の 60ppbを超えないことが分かる。

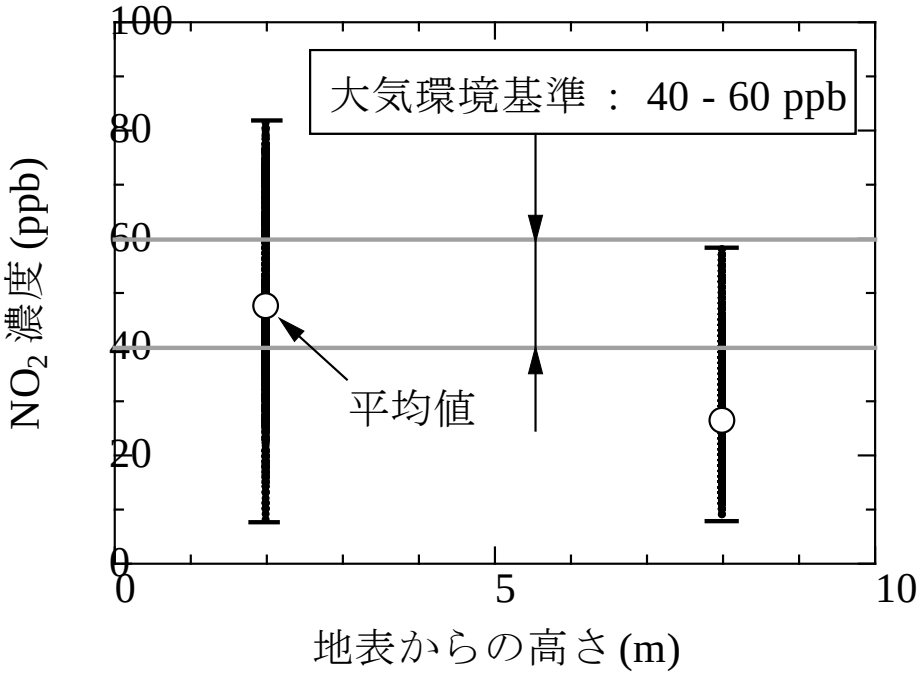


図 3.23　高さ 2mと 8mで測定されたNO_2濃度

3.4　結 言

開発した NOx 濃度測定システムを用いて、大気汚染が深刻な状態となっている愛知県名古屋市南区元塩公園近くの国道 23 号線における大気汚染状況を調べて次の結果が得られた。

(1) 開発した NOx 濃度測定システムを用いることによって、短時間で変動する大気汚染状況を詳細に調べることができた。このことから、その NOx 濃度測定システムは大気汚染状況を調査するために有用なシステムであることが確かめられた。

(2) 元塩公園内には自排局が設置され、NO_2 濃度などの 1 時間平均値が名古屋市から公表されているが、歩道などの国道 23 号線の道路脇ではその値よりも大きくなっている。

(3) 国道 23 号線近くの沿道大気に含まれるNO_2 やNOの濃度は、交通信号の切り替わり、つまり測定値点近くでの交通の状態に起因し

た周期的変動を示す。このような時間的変動によって、自排局などで測定される 1 時間平均値としてのNO_2濃度が環境基準を超えない場合であっても、短時間的には環境基準を大きく超える場合がある。

(4) 渋滞が発生すると、交通信号が切り替わってもNO_2濃度が変化しない。このことから、信号の切り替えに伴うNO_2濃度の周期的変動は、赤信号から青信号に切り替わると、停止していた多くの自動車の運転者がアクセルペダルを踏んで、加速し始める時に車両から排出される排気ガスによって引き起こされる可能性が大きい。

(5) 自動車から排出された高 NOx 濃度のガスの多くは道路近傍で滞留するために、道路から離れると急激に濃度は減少する。

(6) 道路近傍で NOx 濃度が大きい原因として、大型自動車の排気ガスの可能性が大きい。また、NOx 濃度の時間変化に時々大きなピークが認められるが、これには整備不良の大型自動車に起因することが多い。

(7) 開発した NOx 濃度測定システムによる NOx 濃度の時間変化の測定と、ビデオカメラによる交通流の監視を同時に行うことによって、整備不良車を特定できる可能性が認められた。

(8) 第 2 章に記述した標準 NO ガスを用いた実験室的な NO 濃度測定結果と、国道 23 号線近くで実測された NO 濃度を対応させることによって、3000ppm 程度の高濃度の NO ガスを排出している大型自動車も存在することが分かった。

(9) 国道 23 号線から 34m奥まった細街路沿いの地点でもNO_2濃度の周期的変動が認められ、大気中のNO_2の拡散はあまり起こらないことが分かった。また、その濃度は国道から離れると急激に小さくなることが分かった。

（10）自動車から排出された排気ガスの拡散を検討するために、

NO_2濃度の鉛直方向分布を調べた。高さが 2mから 8mになるとNO_2濃度は急減した。このことから、歩行者が道路脇の歩道を通ると高濃度のNO_2ガスに曝される場合であっても、歩道橋の高さにまで上がれば、その影響をかなりの程度まで避けられることが分かる。

これらのように、開発した NOx 濃度測定システムは大気汚染の評価に極めて有用なシステムであって、自排局で測定される 1 時間平均値からは分からない多くの事柄が、それによる NOx 濃度の測定から新しい知見として得られた。

第 4 章　自動車の排気ガスに起因した
大気汚染による健康被害の防止

4.1　緒　言

道路近くの大気汚染状況を改善し、地域住民や歩行者の健康被害をなくすためには、自動車から排出された高濃度のNO_2ガスがどのように拡散していくのかを把握する必要がある。

自排局が固定された場所に設置された単独の測定地点であるのに対し、本研究で開発したNOx濃度測定システムでは、これを複数台準備することによって、短時間で変動するNOx濃度の変化を多地点で同時に測定できる。この特徴を活かして、前章に記述したように、国道 23 号線沿道から水平方向、鉛直方向のNO_2濃度の分布が測定できた。この測定結果に基づいて、歩行者が歩道を歩行する際に曝される劣悪な大気環境から逃れる方法を提言する。

4.2　自動車の排気ガスに起因した劣悪な大気環境から逃れる方法

いくつかの地点で測定したNO_2濃度の時間変化と、それら測定地点の国道 23 号線からの距離との関係を図 3.20 に示したが、NO_2濃度の平均値と国道 23 号線からの距離との関係として、改めて図 4.1 に示す。道路端では 150ppbと環境基準の 60ppbを大きく超える高い濃度であるが、道路端から 2 m離れるだけで環境基準以下の 38ppbまで急減する。

道路面からの高さが 2mと 8mの位置で測定したNO_2濃度の時間変化を図 3.23 に示したが、高さ 2mと 8mにおけるNO_2濃度の平均値を改めて図 4.2 に示す。2 mから 8 mへと高くなると、NO_2濃度は半減し、環境基準以下になる。

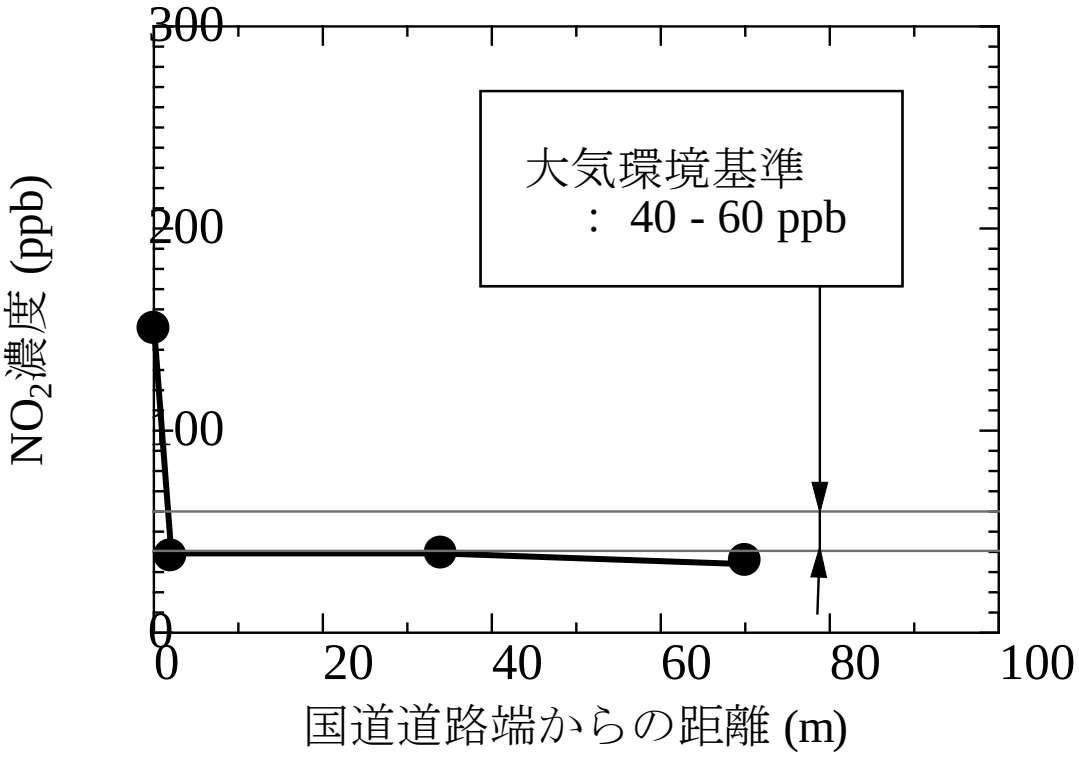


図 4.1　NO_2濃度の平均値と国道 23 号線からの距離の関係

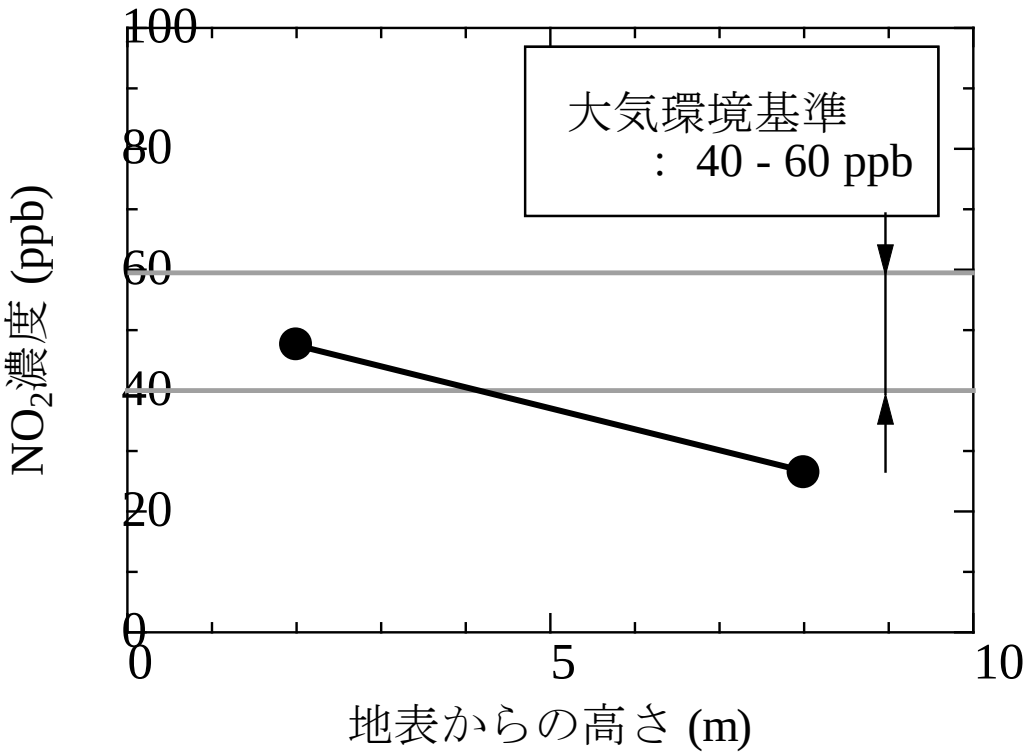


図 4.2　　NO_2濃度の平均値と地表からの高さの関係

これらのNO_2濃度の実測結果からすれば、歩道を歩行すると高濃度のNO_2を含む大気環境に曝されることになる。特に、道路に近い所を歩くほど高NO_2濃度の大気環境に曝されることになる。そして、その場所に長時間止まると健康被害を受ける可能性も高くなる。

図 4.3　交通量の少ない交差点での信号待ちの歩行者（上）と、渋滞時の交通状況（下）

このことから、高NO_2濃度の大気環境に曝されることによる健康被害を防止するためには、(1)図 4.3（下）に示すような渋滞する道路近くに寄らないこと、(2)図 4.3（上）のような交通量の少ない道路の横断歩道では、NO_2濃度が低いので問題は無いと思われるが、図 4.3（下）に示すような交通量の多い道路に設置された横断歩道を歩く場合には、できるだけ足早に歩くとともに、赤信号の場合には、できるだけ道路から離れて信号を待つこと、(3)道路脇の歩道を歩く場合には、できるだけ道路端から遠くを歩くこと、(4)歩道橋が設置されている場合には、それを利用することが有効であろう。

また、(3)からすれば歩道の幅員拡大も有効であろう。図 4.4 は、測定地点⑥の歩道橋から約 200 m 北の交差点付近の歩道を示す。他の場所の歩道に比べて 1.5 倍の幅がある。このような大きな幅員の

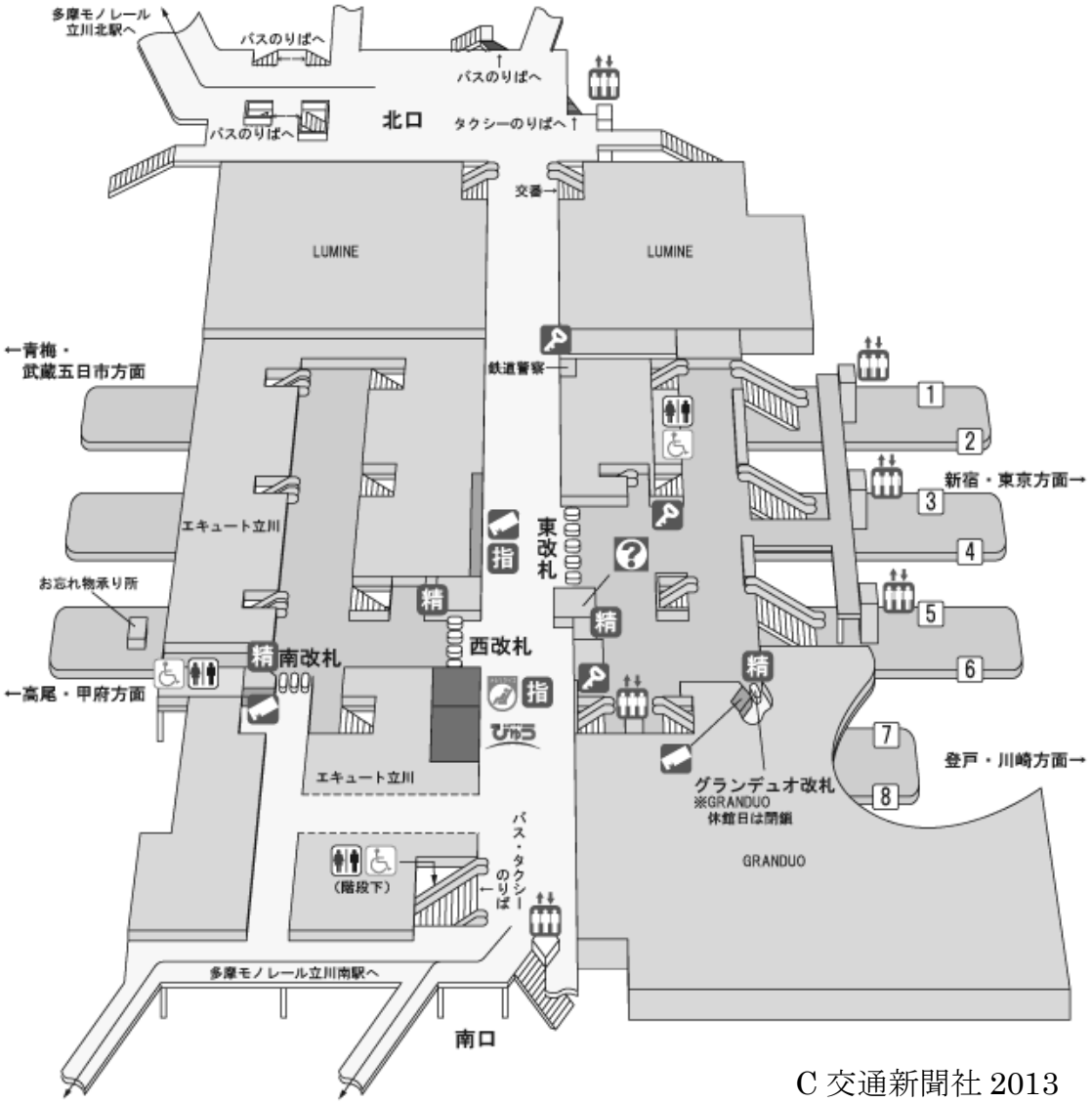
図 4.4　大きな幅員の歩道の一例

歩道を積極的に設けることも効果的である。しかし、現状の道路事情からすれば、このような大きな幅員の歩道を設置することは極めて困難であろう。

道路には多くのバス停留所が設けられ、そこで多くの人が乗降する。バス停留所でバスを待つ人は高NO_2濃度の大気環境に曝されることになる。図 4.5 は、測定地点②付近の名古屋市バス元塩町の停留所を示す。図 4.5（左）のように停留所の表示板が道路側の端に設置されていると、バスを待つ人は自然と道路近くに立つことになるので、極めて劣悪な大気環境に曝される。このようなバス停留所での健康被害を防止するためには、バスを待つ人が道路から離れるように､停留所の表示板を歩道の奥側に移動することが考えられる。また、図 4.5（右）に示す道路反対側の停留所に設置されている屋根のフレームにカバーを取り付けて、高濃度のNO_2ガスの侵入を防止することも考えられる。

図 4.5　測定地点②付近の名古屋市バス元塩町停留所における
表示板の設置状況（左）と、屋根の設置状況（右）

道路面から高くなるにつれて小さなNO_2濃度となることから、できるだけ地表近くを歩かないことも有効であろう。JR立川駅の構内図を図 4.6 に示す。JR立川駅の改札口は駅舎の 2 階にある。JR立川駅で降りた人は、改札を出ると、そのまま歩道橋に直行するようになっている。これによって、地表近くの高NO_2濃度の大気環境に曝されることなく移動できることになる。このような駅周辺の 2



C 交通新聞社 2013

図 4.6　JR立川駅の構内図[48)]

階化街づくりはJR恵比寿駅と三鷹駅でも行われているが、JRのような大企業と大手商業施設の連携がなければ実現困難ではあるが、劣悪な大気環境から逃れられる非常に効果的な例である。

4.3 結　言

本研究で開発したNOx濃度測定システムを用いて国道23号線沿道で測定した水平方向と鉛直方向のNO_2濃度の分布に基づいて、歩行者が歩行する際に曝される自動車の排気ガスに起因した劣悪な大気環境から逃れる方法をいくつか提言した。

歩行者の意識の向上によって対応できることもあるが、歩道幅員の拡大、バス停留所表示板の移動、駅周辺の２階化街づくりなどでは、費用面、行政と鉄道会社の連携などの課題は残るにしても、本研究の成果からすれば、すべて有効な方法である。

第 5 章　結　論

第 1 章では、本論文の研究の背景として、健康被害を及ぼすとされている自動車の排気ガス中の二酸化窒素（NO_2）を低減させるための排気ガス規制強化の推移を示すとともに、その濃度を測定するために全国各地に大気汚染常時監視測定局が設置され、1 時間平均値として測定結果が公表されていることと､その測定値に基づいて、大気汚染が大幅には改善されていないことを示した。

そして、沿道大気環境に関する従来の研究を紹介し、それらの多くが平均的な状況把握に留まっていることを明らかにした。

これらの結果から、環境改善のためには、走行中の自動車から排出される大気汚染物質の濃度を“その場”測定できる方法を開発すること、大気汚染常時監視測定局の測定値である 1 時間平均値の 1 日平均が大気環境基準を満足していても、短時間には極めて高いNO_2濃度になっている可能性があるため、1 時間よりも短時間でのNO_2濃度変動を測定できる手法を確立することが必要であること、従来の方法では大気汚染物質を大量に排出する整備不良車を特定することはできないことなど、大気汚染観測に関するいくつかの問題点を挙げて、本研究の目的を明確にした。

さらに、新しい NOx 濃度測定システムを開発するため、そのシステムに要求される性能を示した。

第 2 章では、NO_2濃度の測定に用いられているいくつかの方法の特徴を比較検討して化学発光法を選択し、その方法に基づく市販のNOx濃度測定装置を利用、改造して、極めて短い時間間隔でのデータ出力を可能とするとともに、データ処理法に工夫を加えて、短い

時間間隔でばらつきが小さなNOx濃度の測定値が得られるシステムを考案した。これによって、第 1 章で示した要求性能を満足する新しいNOx濃度測定システムが構成できた。

また、この NOx 濃度測定システムの性能を評価するために、NO 濃度の異なる標準 NO ガスを用い、大気汚染の状況を模擬的に調べる実験を行った。その実験結果から、開発した NOx 濃度測定システムは優れた時間応答特性と NO 検出性能を有することが分かり、道路を走行する自動車の中で大気汚染物質を大量に排出する整備不良車を“その場”で特定したり、歩道の大気汚染状態の時間変動を詳細に調べることができる性能を確認した。

第 3 章では、本研究で開発したNOx濃度測定システムを用いて、大気汚染が深刻な状態となっている愛知県名古屋市南区元塩公園近くの国道 23 号線における大気汚染状況を調べた結果について述べた。その結果、(1)開発したNOx濃度測定システムを用いることによって、短時間で変動する大気汚染状況を詳細に調べることができること、(2)元塩公園内には自排局が設置され、NO_2 濃度などの 1 時間平均値が名古屋市から公表されているが、歩道などの国道 23 号線の道路脇ではその値よりも大きくなっていること、(3)国道 23 号線近くの沿道大気に含まれるNO_2 やNOの濃度は、交通信号の切り替わり、つまり測定値点近くでの交通の状態に起因した周期的変動を示すこと、(4)このような時間的変動によって、自排局などで測定される 1 時間平均値としてのNO_2濃度が環境基準を超えない場合であっても、短時間的には環境基準を大きく超える場合があること、(5)渋滞が発生すると、交通信号が切り替わってもNO_2濃度が変化しないことから、信号の切り替えに伴うNO_2濃度の周期的変動は、赤信号から青信号に切り替わると、停止していた多くの自動車の運転

者がアクセルペダルを踏んで、加速し始める時に車両から排出される排気ガスによって引き起こされる可能性が大きいこと、(6)自動車から排出された高NOx濃度のガスの多くは道路近傍で滞留するために、道路から離れると急激に濃度は減少すること、(7)道路近傍でNOx濃度が大きい原因として、大型自動車の排気ガスの可能性が大きいこと、(8)NOx濃度の時間変化に時々大きなピークが認められるが、これには整備不良の大型自動車に起因すること、(9)開発したNOx濃度測定システムによるNOx濃度の時間変化の測定と、ビデオカメラによる交通流の監視を同時に行うことによって、整備不良車を特定できる可能性があること、(10)3000ppm程度の高濃度のNOガスを排出している大型自動車も存在すること、(11)国道 23 号線から 34m奥まった細街路沿いの地点でもNO_2濃度の周期的変動が認められ、大気中のNO_2の拡散はあまり起こらないこと、(12)NO_2濃度は国道から離れると急激に小さくなること、(13)高さが 2mから8mになるとNO_2濃度は急減し、歩行者が道路脇の歩道を通ると高濃度のNO_2ガスに曝される場合であっても、歩道橋の高さにまで上がれば、その影響をかなりの程度まで避けられることなどが分かった。

これらのように、開発した NOx 濃度測定システムは大気汚染の評価に極めて有用なシステムであり、多くの新しい知見が得られた。

第 4 章では、本研究で開発したNOx濃度測定システムを用いて国道 23 号線沿道で測定した水平方向と鉛直方向のNO_2濃度の分布に基づいて、歩行者が歩行する際に曝される自動車の排気ガスに起因した劣悪な大気環境から逃れる方法をいくつか提言した。

また、第 1 章では、従来の研究を紹介したが、次のような問題がある。

(1)大気汚染常時監視測定局の測定結果を用いた研究

大気汚染常時監視測定局が配置されている地区の全般的な、長期的な汚染状態の推移や傾向を概観しているに過ぎず、例えば道路沿道で歩行者が有害物質に曝されている実態を確実に捉えるには不十分と言わざるを得ない。また、5 年に一度全国各地で一斉に実施される交通状況調査である道路交通センサスの結果を用いた例もあり、1 時間ごとの台数・車種・大型車の混入率・ピーク時間の台数・実施時期による交通量の推移など詳細なデータが得られるために、測定局の 1 時間値との対比に適しているが、交通量が直接汚染状態に及ぼす影響を判断するには即時性が不足している。

(2) 沿道などでの実測値に基づく研究

ザルツマン法、パーソナルサンプラー、簡易サンプラーは大気汚染常時監視測定局での測定値に相当する 1 時間平均値を得ようとするものであり、多地点での同時測定により濃度分布が容易に得られるが、測定結果が平均値であることに留まっており、実態をより明確に把握するためには短い時間間隔での測定が必要である。

(3) 車載型排出ガス計測装置を用いた従来の研究

道路沿道の大気汚染に対して直接影響を与える排出源である自動車からの排気ガス中の有害成分に注目しており、様々な走行条件において、どのような変動を示しているのかを捉えている点で、得られるデータは測定局の結果のような平均値ではなく短時間内での測定値であり沿道での実態に迫っている。ただそれは、走行条件が変化した場合の自動車からの排気ガスの特性がどの

ように変化するかという調査であって、沿道において刻々と変化すると考えられる汚染状態までは捉えきれていない。

(4) 整備不良車からの排気ガスに関する研究

現実には、整備不良が原因と思われる自動車が存在するのは明らかであり、この点に注目して高精度なリモートセンシング装置を用いて、正常な整備状態の車両からの排気ガス濃度レベルを推定している点が評価できる。ただ、排気ガスに照射する赤外線と紫外線の吸収量から濃度を測定するという手法であり、行政レベルのプロジェクトでなければ予算面で対応しきれないと思われる。

(5) 自動車排気ガスの健康への影響に関する研究

沿道大気汚染が住民の健康及ぼす影響について、非常に多くの研究が実施されてきたが、疫学的な取り組みが目立ち残念ながら理論的に十分解明されているとは言えない。健康被害に関する研究状況を調査しても、明確な情報を得ることができないという状況である。

このような問題点に対して、本研究で得られた新たな知見を次にまとめる。

(1) 該当する地区の平均的で長期的な汚染状態を概観するのではなく、道路沿道で歩行者が直接有害物質に曝されている実態を確実に捉える短い時間間隔でのNOx濃度測定システムを開発した。また、ビデオカメラで道路状況を撮影した画像と、本システムで測定したNOx濃度の時間変化とを対応させ、交通量、交通流、整備不良車が直接汚染状態に及ぼす影響を指摘した。

(2)本システムの機動性を生かして多地点での同時測定を実施し、短時間での濃度分布を得たことにより、大気汚染の実態を明確に

把握した。

(3) 実際の測定結果に基づいて、健康への影響を考慮したいくつかの提案を行うことができた。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、貴重なご意見と有意義なご教示の数々を頂き、さらに終始懇切丁寧なご指導ご鞭撻を頂きました福井工業大学工学部機械工学科羽木秀樹教授に深く感謝致します。

本論文をまとめるにあたり、貴重なご意見、有意義なご教示の数々と懇切なご指導ご鞭撻を頂きました福井工業大学工学部機械工学科松藤久良教授、環境生命化学科田中智一教授に深く感謝致します。

本論文執筆の機会を与えて頂き、終始多大なご支援を頂きました福井工業大学学長城野政弘教授、福井工業大学工学部機械工学科主任冨田佳宏教授、福井工業大学工学部機械工学科前主任河合伸泰前教授、並びに機械工学科澁谷敦義前教授に深く感謝致します。

本研究を開始するきっかけとなりましたのは、2003年トヨタ自動車株式会社からの研究委託によるものでした。貴重なご意見、有意義な数多くのご教示と懇切なご指導ご鞭撻を頂きました当時の担当者井澤博之様に深く感謝致します。また、研究を進める過程において終始多大なご支援を頂きました林大介様に深く感謝致します。そして本研究を実施するにあたり、測定装置の電源の供給を快く引き受けていただきました近隣の店舗・一般家庭の住民各位に心から深く感謝致します。

文部科学省の私学助成プロジェクト「オープン・リサーチ・センター」・「北陸地域における環境の計測と保全に関する研究拠点形成」及び学内特別研究「クラスタA」への参画を勧めていただき、外部資金あるいは学内資金により、現在も本研究を継続できていることに対して福井工業大学の関係部署各位に深く感謝致します。

内燃機関の基礎をご教授くださり、終始懇切丁寧なご指導ご鞭撻を頂きました東京工業大学工学部機械工学科故松岡信教授に深く感

謝致します。ゼミで取り上げられた「窒素酸化物の生成機構」に関するテーマにより本研究に関する基礎知識を得たこと、パソコンが無かった時代の学部4年次に、卒業研究のテーマとして当時としては得がたかったミニコンピュータによるデータ処理プログラムの実用化を与えていただき、開発したプログラムを修士課程における研究において単気筒エンジンでの筒内圧測定結果の処理に適用するということを実施させていただいた経験が本研究に反映されていると考えています。

最後に、終始精神的な支えになり本論文の完遂を支援してくれた妻敬子に感謝致します。

参考文献

1) 島正之:　自動車排出ガスの健康影響に関する疫学研究, 兵庫医科大学医会誌, **30**(2) , 145 - 152 (2005).
2) 小林伸治:　大気質の最近の状況と自動車エンジンシステムのエミッション低減による環境改善効果, エンジンテクノロジーレビュー, **2**(6) , 12 - 17 (2011.02).
3) 小木曽毅:　都市と沿道の大気環境, 豊田中央研究所R&D レビュー, **35**(1) , 7 - 12 (2000.03).
4) 新藤純子, 大井紘, 松本幸雄:　大気汚染の時間・空間変動特性に基づく観測系設計の考え方, 環境科学会誌, **8**(3) , 243 - 260 (1995.08).
5) 河野仁, 鈴木秀男:　大阪, 兵庫地域における 20 年間の大気中窒素酸化物濃度経年変化－低減しない原因の解析－, 環境科学会誌, **16**(5) , 411 - 424 (2003.09).
6) 水野建樹, 目黒靖彦:　東京都区内の常時監視測定局と道路交通センサスのデータを利用した NOx・SPM 濃度への自動車の影響とその変化の推定, 大気環境学会誌, **45**(3) , 117 - 125 (2010).
7) Stuart, A. L., Sriwatanapongse, W., Mudhasakul, S.:　The social distribution of neighborhood－Scale air pollution and monitoring protection, Journal of the Air & Waste Management Association, 59(5) , 591 - 602 (2009).
8) Singh, A. K., Gupta, H. K., Singh, P., Gupta, V. B., Sharma, R. C., Gupta, K.:　A comparative study of air pollution in Indian cities, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 78(5) , 411 - 416 (2007.05).
9) 三浦米吉:　幹線道路沿道における NOx 挙動, 豊田中央研究所

R&D レビュー, **32**(2), 11 - 21 (1997.06).

10) 伊永隆史，原千陽，久米村百子，山内孝郎: 液滴法による二酸化窒素吸収特性とサンプリング装置の開発，大気環境学会誌, 36(6), 326 - 332 (2001.11).

11) 丸尾容子, 阪田晴三, 古保静夫, 間山秀信: 蓄積型センサを用いた二酸化窒素濃度測定装置の開発および盛岡近郊における二酸化窒素濃度変動の測定，大気環境学会誌, **37**(6), 374 - 386 (2002).

12) 柳沢幸雄，西村肇: 生活環境中濃度測定用NO_2パーソナル・サンプラー，大気汚染学会誌, **15**(8), 316 - 323 (1980).

13) 大野浩一，蒲生昌志，川本克也，山本和夫: 大気中二酸化窒素および揮発性有機化合物の個人曝露量調査に基づく地域の曝露特性の評価，環境工学研究論文集, **36**, 61 - 71 (1999.11).

14) 小田淳子, 橋本大祐: 簡易測定法で観測された高梁市道路近傍の大気中二酸化窒素濃度について，吉備国際大学国際環境経営学部研究紀要, **19**, 15 - 27 (2009).

15) 星野宗久，森崇行，高木直樹，岩井一博，山下恭弘，内田英夫: 交差点周辺における大気汚染の実測調査と最適信号制御に関する研究，日本建築学会環境系論文集, (614), 49 - 55 (2007.04).

16) Cowie, C. T., Rose, N., Walter, S., Marks, G. B., Cowie, C. T., Rose, N., Walter, S., Gillett, R.: Redistribution of traffic related air pollution associated with a new road tunnel, Environmental Science & Technology, **146**(5), 2918 - 2927 (2012.03).

17) 高田典史，高田寛，飯田訓正: 車載型排出ガス計測装置による沿道局所汚染の実態調査および解析－幹線路区間および狭

路区間における NOx，PM 排出係数に影響を与える要因の解析ー，自動車技術会論文集， **36**(5), 99 - 104 (2005.09).

18) 近藤謙次，藤木宣彦，岡田周輔，中村成男，塚本時弘，千田二郎，藤本元: オンボード計測システムを用いた直噴ディーゼル車両の排出ガス計測－1988 年排出ガス規制対応直噴ディーゼル使用過程車両を用いた実路走行における排出ガス特性の把握ー，自動車技術会論文集， **38**(6), 217 - 222 (2007.11).

19) 井ノ尾毅，藤木宣彦，中村成男，千田二郎，藤本元: オンボード計測システムを用いたディーゼル使用過程車の排出ガス計測，自動車技術会論文集， **40**(5), 1315 - 1320 (2009.09).

20) 高田寛，高田典史，飯田訓正: 車載型の排出ガス計測装置による沿道局所汚染の解析（EGR 排出ガス制御付き車両の路上における過渡時の NOx 排出特性），日本機械学会論文集 C, **71**(706), 2006 - 2013 (2005.06).

21) 高田寛，宮崎富夫，飯田訓正: 車載型の排出ガス計測装置による沿道局所汚染の解析（EGR 排出ガス制御付きおよび無しの車両の路上における NOx 排出特性），日本機械学会論文集 C, **71**(703), 1024 - 1031 (2005.03).

22) 近藤美則，小林伸治，森口祐一，田辺潔: 車載型機器による走行動態調査と走行動態の燃費及び排出ガスに及ぼす影響の解析，自動車技術会論文集， **35**(3), 77 - 83 (2004.07).

23) 横田久司: 使用過程にある大型ディーゼル車の排出ガス低減対策に関する研究，大気環境学会誌， **42**(1), 1 - 15 (2007.01).

24) Daham, B., Li, H., Andrews, G. E., Ropkins, K., Tate, J. E., Bell, M. C. : Comparison of real world emissions in urban driving for Euro1-4 vehicles using a PEMS, SAE Technical Paper Series, 1 - 15 (2009).

25) Krimmer, M., Venigalla, M.: Measuring impacts of High-Occupancy-Vehicle lane operations on light-duty-vehicle emissions experimental study with instrumented vehicles, Transportation Research Record, No.1987, 1 - 15 (2006).

26) Collins, J. F., Shepherd, P., Durbin, T. D., Lents, J., Norbeck, J., Barth, M.: Measurements of in-use emissions from modern vehicles using an on-board measurement system, Environmental Science & Technology, **41**(18), 6554 - 6561 (2007.09).

27) Weiss, M., Bonnel, P., Hummel, R., Provenza, A., Manfredi, U.: On-road emissions of light-duty vehicles in Europe, Environmental Science & Technology, **45**(19), 8575 -8581 (2011.10).

28) Cachon, L., Toth, D., Pucher E. : Real-world emission monitoring of natural gas vehicles with higher mileage, SAE Technical Paper Series, 1 - 10 (2009).

29) 林誠司, 内田謙一, 林誠司, 内田謙一: リモートセンシング法を用いたガソリン高排出車の影響検討, 大気環境学会年会講演要旨集, **50**th, 586 (2009.08).

30) 衣笠幸夫, 国見均, 長尾正基, 土岐真一: リモートセンシング法によるガソリン車ハイエミッタの推計, 日本機械学会論文集 B, **73**(731), 1480 - 1485 (2007.07).

31) Zhou, Y., Fu, L., Cheng, L.: Characterization of in-use light-duty gasoline vehicle emissions by remote sensing in Beijing: Impact of recent control measures, Journal of the Air & Waste Management Association, **57**(9), 1071 -1077 (2007.09).

32) 田中良明，仁田善雄，島正之，岩崎明子，安達元明: 主要幹線道路沿道部における大気汚染が学童の呼吸器症状に及ぼす影響, 大気環境学会誌, **31**(4), 166 - 174 (1996.07).

33) 中村貢: わが国における沿道公害に関する調査研究の動向 I 大気汚染, 横浜市公害研究所報, **31**(4), 166 - 174 (1996.07).

34) 大野隆史，北瀬勝: 健康影響調査における個別環境 NOx・EC 濃度の推計, 大気環境学会年会講演要旨集, **41**st, 472 (2000).

35) 橋本正史: 有害大気汚染物質の健康影響予測の新たな展開 健康リスクアセスメントの可能性, 大気環境学会誌, **36**(6), A87 – A93 (2001.11).

36) 井村秀文: 幹線道路沿道の大気汚染リスクアセスメントにおける個人暴露量の評価, 環境システム研究, **17**, 76 – 81 (1989.08).

37) Klemm, R. J., Thomas, E. L., Wyzga, R. E.: The impact of frequency and duration of air quality monitoring: Atlanta, GA, data modeling of air pollution and mortality, Journal of the Air & Waste Management Association, **61**(11), 1281 -1291 (2011.11).

38) Weichenthal, S., Kulka, R., Dubeau, A., Martin C., Wang, D., Dales, R.: Traffic-related air pollution and acute changes in heart rate variability and respiratory function in urban cyclists, Environmental Health Perspectives, **119**(10), 1373-1378 (2011.10).

39) Fann, N., Hubbell, B., Bell, M. L., Walker, K.: Improving the linkages between air pollution epidemiology and quantitative risk assessment, Environmental Health

Perspectives, **119**(12), 1671-1675 (2011.12).

40) 環境省水・大気環境局大気環境課: 環境大気常時監視マニュアル, **6**, 1– 330 (2010.03).

41) Hiroyuki I., Daisuke H., Ichiro S., Akira O.: Analysis for relationship between vehicle NOx emission and roadside NO_2 concentration, Society of Automotive Engineers, SAE Technical Paper Series, 1 - 10 (2008).

42) 堀場製作所 自動車計測システム統括部: エンジンエミッション計測ハンドブック

43) 堀場製作所: 窒素酸化物濃度測定装置 APNA-360 取扱説明書.

44) 堀場製作所: 標準ガス発生器 SGGU-610 取扱説明書.

45) トヨタマックス: 汎用 PC データ収集装置 取扱説明書.

46) 鈴木央一, 藤森敬子: 車検時 NOx 測定評価手法に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集（2007 年秋季大会）, **127-07**, 17-22(2007.10).

47) http://maps.google.co.jp/maps?hl=ja&tab=wl: Google マップ(愛知県名古屋市)

48) 株式会社交通新聞社: JR 立川駅構内図

論文リスト

本論文の基礎となる学術論文

1) 小栗　彰:　自動車の通過に伴う沿道での二酸化窒素濃度短時間測定方法の提案, 大気環境学会誌（投稿中）.

紀要関係

1) 小栗　彰:　沿道の大気汚染状況に関する計測, 福井工業大学研究紀要, **37**, 85-88(2007.05).
2) 小栗　彰:　沿道の大気汚染状況に関する計測（第２報）, 福井工業大学研究紀要, **38**, 75-82(2008.05).
3) 小栗　彰:　自動車の通行に伴う沿道の大気汚染の計測, 福井工業大学研究紀要, **39**, 131-138(2009.08).
4) 小栗　彰:　沿道大気汚染に及ぼす気流・交通流の影響調査, 福井工業大学研究紀要, **40**, 105-114(2010.06).
5) 小栗　彰:　道路沿道における窒素酸化物の濃度分布, 福井工業大学研究紀要, **41**, 141-151(2011.07).
6) 小栗　彰:　リアルタイムモニタリングによる日本海沿岸の大気汚染状態観測, 福井工業大学研究紀要, **42**, 147-153(2012.06).
7) 小栗　彰:　リアルタイムモニタリングによる大気汚染状態観測－大気汚染常時監視測定局の測定結果に関する一考察－, 福井工業大学研究紀要, **42**, 154-161(2012.06).

口頭発表

1) 小栗　彰, 林大介, 井澤博之, 阪田一郎: 車道からの窒素酸化物の拡散計測, 自動車技術会学術講演会前刷集（2006 年秋季大会）,**113-06**, 5-8(2006.09).

2) 小栗　彰, 林大介, 井澤博之, 阪田一郎: 車道からの窒素酸化物の拡散計測（第２報）, 自動車技術会学術講演会前刷集（2007年秋季大会）,**127-07**, 5-10(2007.10).